



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

### **Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

### **About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



## Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

## Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

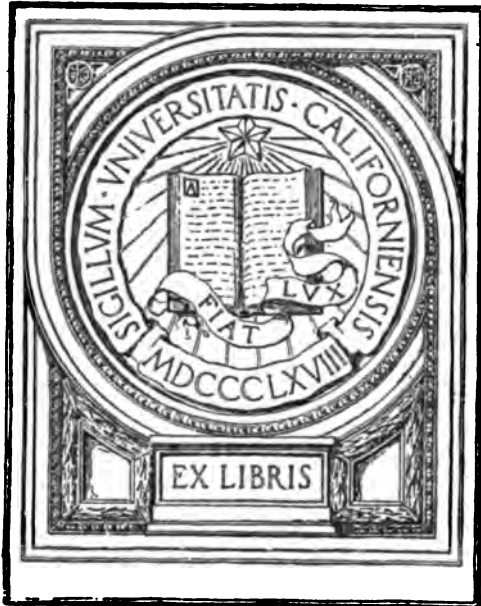
- + *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.
- + *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.
- + *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.
- + *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

## Acerca de la Búsqueda de libros de Google

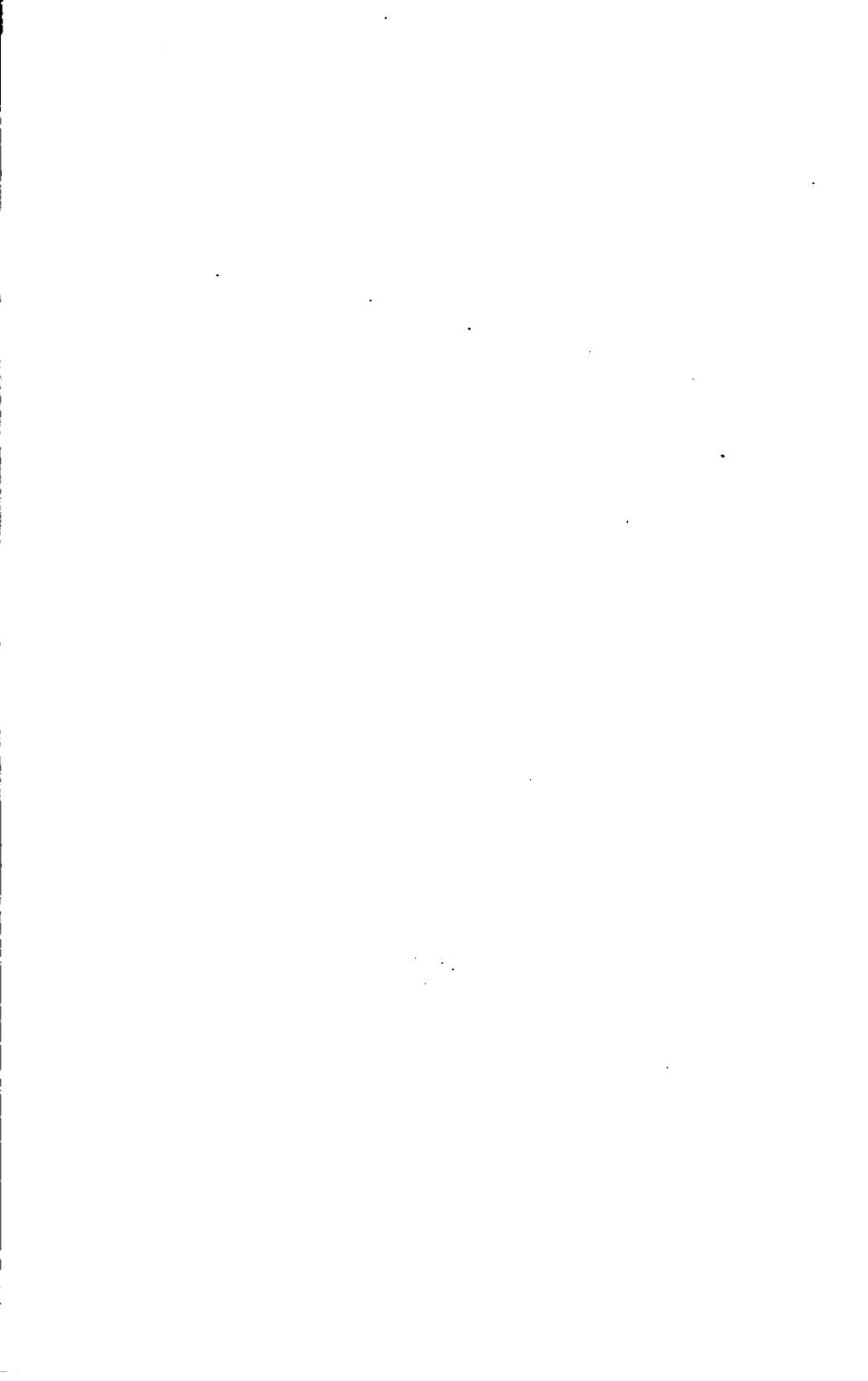
El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página <http://books.google.com>



GIFT OF  
J.C.CEBRIAN

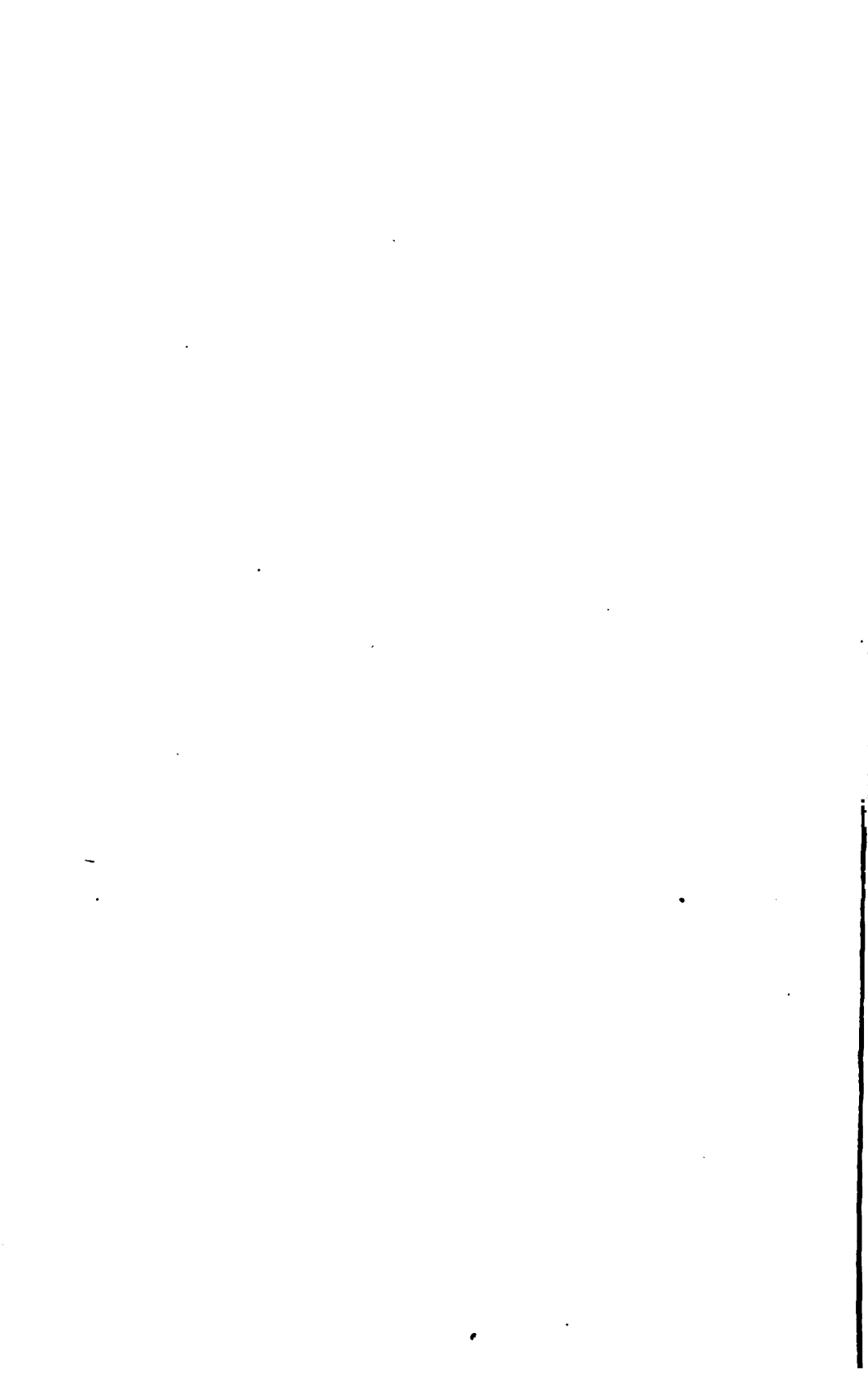


BIOLOGY  
LIBRARY  
G











# CITOLOGÍA VEGETAL

## OBRAS DEL MISMO AUTOR

---

*Excursión geológica por las montañas del Jura:* Madrid, 1885.

*Estudio petrográfico sobre la Pumita del Krakatoa:* Madrid, 1887.

*Estudio sobre los meteoritos:* Madrid, 1892.

*Estudio petrográfico del meteorito de Madrid:* Madrid, 1896.

*Jardín Botánico:* Madrid, 1898.

*Datos nuevos que incluir en la Flora hispano-lusitana:* Madrid, 1900 y 1903.

*Excursión botánica por las provincias de Sevilla y Cádiz:* Madrid, 1903.

*Digestión del almidón:* Madrid, 1903.

*Necrología del Sr. Rodríguez Femenias:* Madrid, 1905.

Varios artículos científicos publicados en periódicos y revistas.

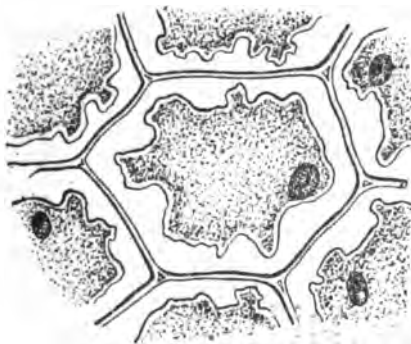
TRATADO  
DE  
CITOLOGÍA VEGETAL

MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA CELULARES

POR EL DOCTOR

**D. APOLINAR FEDERICO GREDILLA Y GAUNA**

Catedrático, por oposición, de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central  
y Director del Jardín Botánico.



LIBRERÍA GENERAL DE VICTORIANO SUÁREZ

MADRID  
LIBRERÍA GENERAL DE VICTORIANO SUÁREZ  
48, Preciados, 48  
1907

2.7.25

G7

BIOLOGY  
LIBRARY  
G

---

*Es propiedad.*

---

---

EST. TIP. DE LA VIUDA É HIJOS DE M. TELLO

## PROEMIO

La insistencia de los alumnos del Jardín Botánico, que por su falta de preparación en Química biológica, reclaman una clave razonada para la mejor inteligencia de la *Citología vegetal*, y la consideración de ser utilísimo este estudio á todos aquellos que se dedican á Farmacia, Medicina y Carreras especiales, como Ingenieros agrónomos, de Montes y de Minas, son razones que han inclinado nuestro ánimo para exponer con el orden y claridad posibles las cuestiones más intrincadas de esta parte de la Botánica.

Por otra parte, es tan esencial el estudio de la biología celular, que desde que el holandés Janssen hacia el 1609 inventó el microscopio, y sus compatriotas Leeuwenhoek y Hartsoeker, sobre todo el primero, lo aplicaron á las ciencias naturales, el genio analítico del hombre penetró resueltamente á desentrañar lo infinitamente pequeño, y la ciencia moderna constantemente se afana en inquirir la verdad de los maravillosos é imperceptibles fenómenos vitales.

En la célula está la llave de todo el funcionamiento normal y patológico, y la anatomía y fisiología seriamente estudiadas, no representan otra cosa que la larga y difícil historia de la célula. El desenvolvimiento funcional de un sér superior, tanto al estado de salud como al morboso, es la resultante de la vida particular de sus innumerables elementos celu-

lares, y disertar sobre una resultante sin conocer el valor de sus componentes, es caminar á ciegas y tantear el problema de modo que su solución sea completamente empírica.

Por esto, con razón dice muy oportunamente Siebeck, Profesor de la Universidad de Bále, en su Discurso inaugural pronunciado el 9 de Noviembre de 1882, publicado en la *Revista internacional de enseñanza* de 15 de Febrero de 1883, pág. 176, que es necesario exigir á los estudiantes de Medicina y de Ciencias naturales, no sólo el número más ó menos considerable de hechos con sus prácticas respectivas, sino también que se penetren profundamente en los intrincados problemas del organismo, compendiados en uno solo: *la vida de la célula*.

De consiguiente, dar una idea de lo que es el organismo vegetal reducido á su mayor sencillez, teniendo en cuenta en la célula sus tres conceptos: *morfológico, fisiológico y genésico*; he aquí relatado todo lo que nos proponemos relatar en este libro.

Para ello, y con la dificultad propia del caso, hemos condensado las cuestiones más importantes que respecto á la célula se han escrito en obras, folletos y Revistas periódicas, principalmente extranjeras, sin omitir, claro está, las manifestaciones publicadas por algunos naturalistas españoles, que no enumeramos, porque éstos, así como aquéllos, serán citados particularmente en el transcurso de nuestro estudio.

Antes, sin embargo, y como vía de introducción, expondremos brevísimas consideraciones sobre los seres naturales, con indicación de las más características diferencias entre animales y vegetales, y la división y subdivisiones que se establecen en la Bo-

tánica, para saber qué lugar ocupa en la ciencia de las plantas la *Citología vegetal*.

Y por último, para que el lector en ciertos casos dudosos tenga una idea del camino que debe emprender en sus investigaciones experimentales, con respecto al estudio de la célula, terminamos con un Apéndice, en el que se han sintetizado los procedimientos más generales que hoy se emplean en las obras de Técnica histológica vegetal.

Decididos, por tanto, á publicar estas cuartillas sin pretensiones de ningún género, encaminadas según hemos dicho á facilitar á los alumnos trabajo en el estudio, sólo nos resta manifestar que las figuras intercaladas en la parte de morfología celular, pues las demás carecen de mérito alguno, han sido primorosamente dibujadas con cuantos detalles reclama la ciencia, por el conservador del Museo de Ciencias Naturales, Dr. D. Cayetano Escribano; y como al mismo tiempo el conservador del Jardín Botánico, Dr. D. Julio Uruñuela, ha tenido la singular atención de comprobar con magistrales preparaciones micrográficas algunos datos que nos parecían dudosos, á ambos ilustrados Profesores ofrecemos desde estos renglones el aplauso más entusiasta y las gracias más expresivas.

Que sirva este humilde Tratado de estímulo é iniciativa para los amantes por las ciencias naturales, y habremos conseguido el fin que nos proponíamos. Si hemos cumplido nuestra misión, en la que tenemos buenos deseos, el lector determinará con su atinado juicio.

A. FEDERICO GREDILLA.





## INTRODUCCIÓN

### I

#### CONSIDERACIONES RESPECTO Á LOS SERES NATURALES

**Naturaleza.**—Esta palabra (en latín *natura*, derivada de *nascor*, nacer), significa en general el conjunto, orden y disposición armoniosa de todas las substancias y seres corpóreos que constituyen el Universo, con las fuerzas y leyes que le rigen, y también la propiedad, estado y condición de cada uno de ellos (1).

Cuando hablamos de la *Naturaleza* como sér inteligente que se da leyes y marcha conscientemente á un fin, lo hacemos tomando el efecto por la causa, que es Dios, pues sólo Éste es, y puede ser, la inteligencia ordenadora del mundo.

**Seres naturales.**—Son los distintos cuerpos que se hallan en la *Naturaleza* sin que el hombre haya intervenido en su formación; ó sea, los diferentes objetos creados con fuerzas que se localizan en ellos ó que obran de un modo general sobre los mismos.

**División.**—Del estudio, reconocimiento, clasificación y descripción de los seres naturales se ocupa la *Historia Natural*, y fijándonos en la Tierra, como elemento sideral más conocido y de interés más cercano al hombre por servirle de morada, dividiremos los seres naturales que gravitan en el globo

(1) En sentido filosófico fué definida la *Naturaleza* por Aristóteles, como «la esencia de aquellas cosas que tienen en sí mismas el principio del movimiento,» entendiendo por movimiento las operaciones de los seres, como son en los materiales la luz, calor, etc., y en los espirituales el querer, entender, etcétera.

terráqueo en dos grandes grupos: *Inorganizados* y *Organizados*.

Son *inorganizados* (llamados también *inorgánicos*) los seres que no presentan vestigio alguno de organización celular y tienen tendencia al equilibrio y á la estabilidad de formas (minerales, rocas).

Denominanse *organizados* (impropiamente *orgánicos*) (1) á todos aquellos que manifiestan organización celular más ó menos diferenciada, ó por lo menos la configuración morfológica de los seres á que pertenecieron, de haber perdido aquel distintivo después de su muerte.

Del estudio de estos seres se ocupa la *Biología*, dividida en los dos grandes grupos de *vegetal* y *animal*, y cada uno de éstos, á su vez, en *vivientes* y *fósiles*; división esta última que está en armonía con la simultaneidad del estudio morfológico y descriptivo de ambos seres en las clases universitarias (2).

Se llaman *vivientes* á los organizados vivos que tienen tendencia á perturbar el equilibrio establecido y producen formas sucediéndose en ciclos definidos; y *fósiles*, los seres organizados muertos que, habiendo perdido su energía vital, quedan sujetos, como los minerales, á las leyes de la materia inorganizada y enterrados naturalmente y más libres de la acción del medio ambiente, se conservan completos ó fragmentados en el transcurso de los siglos dentro de las capas sedimentarias.

**Organización.**—Designamos con este nombre el conjunto de partes ú órganos, diferenciados ó no, que armónicamente combinados constituyen la trama anatómica de los seres organizados.

**Organismo.**—Entendemos por organismo la organización en acción, es decir, el conjunto de órganos más ó menos dife-

(1) Entendemos por sustancias ó *cuerpos orgánicos* á los múltiples productos elaborados por los seres organizados, sin que formen parte de su constitución, algunos de los cuales como el succino (resina), se hallan en la corteza terrestre al estado natural.

(2) A la geología estratigráfica corresponde el estudio de la sucesión de faunas y floras fósiles, condiciones de medio y evolución de los seres, para en su día describir más plenamente la verdadera historia de nuestro planeta.

renciados con las leyes que los rigen, ó la arquitectura celular con el funcionamiento de la misma.

Y no se diga que hay *organismos sin órganos*, aludiendo á esos seres diminutos y microscópicos aparentemente sencillos y en verdad tan complicados, llamados *células* (*Protococcus*, amibas, bacterias, diatomeas), pues cualquiera sér unicelular de los grupos citados tiene una organización *ad hoc* para vivir libre é independientemente, poniéndose en relación con el medio que le rodea.

Así, el protoplasma de la célula, con su armazón de mallas poligonales llamado *retículo*, que es la belleza del observador que lo mira á través de un objetivo de inmersión, funciona en su constante movimiento y fabrica substancias nuevas que antes no tenía. El jugo líquido que surca su seno, juntamente con el alimenticio procedente del exterior, circula siguiendo derroteros determinados para proporcionar á las partes los elementos deseados para su nutrición, crecimiento y reproducción; pues así como las aguas de los ríos buscan su sendero natural y forman poco á poco el cauce por donde han de marchar, así también los líquidos celulares se dirigen por sitios convenientes, dando origen en cierto modo á barreras intracelulares invisibles ó *tubos no manifiestos*, por entre los cuales dichos líquidos siguen su destino.

Con este motivo, recordamos las palabras de Cajal en su *estudio histogenético*, pág. 228, que dice: «En el tejido sanguíneo se forman á la vez vasos y sangre; la periferia de la sangre forma el vaso.»

**Vida.**—Si los sacerdotes egipcios, en la más remota antigüedad, hubieron de escribir en el frontispicio del templo de la diosa Isis, personificando la Naturaleza: «yo soy todo lo que es, todo lo que ha sido, todo lo que será, y nadie podrá descubrir el velo que me cubre,» otro tanto pudiéramos decir respecto de la vida, que se comprende por sus efectos mejor que se define, y como ha dicho el Marqués de Saporta (1), es uno de los fenómenos tan maravilloso como incomprensible.

Muchas definiciones se han dado de la vida; pero la que nos parece más acertada es la del Doctor Angélico, que la caracte-

(1) *Monde des plantes avant l'apparition de l'homme*, por el Marqués de Saporta.

riza diciendo que es «la virtud propia del sér á moverse á sí mismo,» y como substancial el nacer, nutrirse, crecer y reproducirse, para transmitir á la especie la propiedad vital que en el individuo es limitada.

**Origen de la vida.**—El origen de la vida para la ciencia, descansa en la obscuridad más completa, y la inteligencia humana, con sus filosofías, nunca ha podido aclarar científica y satisfactoriamente el modo y manera de brotar de la tierra tan sorprendente hallazgo.

Se sabe, sí, que determinados elementos químicos en la primera era de la Creación, se unieron ascendiendo en escala de creciente complicación para constituir la materia organizada; se sabe también que no debieron ser sólo las fuerzas físicas y químicas, con las condiciones terrestres de entonces, las que contribuyeron á su enlace prodigioso, puesto que nuestros gabinetes químicos disponen de condiciones sobradas para colocar los elementos de que está formada la materia organizada en análogas condiciones que en aquellos tiempos, y, sin embargo, preciso es reconocer que la *materia viviente* no aparece por ningún lado en nuestros laboratorios, y eso que se sintetizan por los químicos bastantes productos orgánicos, como la urea, etc.

Y sabiendo todo esto, ¿cómo se entiende que de la materia inorgánica, sometida únicamente á las leyes físico-químicas, brote ó surja esa fuerza poderosísima y vivificante que gobierna, rige y regula las partes de un sér organizado? ¿Será por la ilusoria generación espontánea? No. ¿Será, como alguno supone, procedente de otro planeta, traída, sembrada y germinada por un bólido? Tampoco. Pues además de no creerlo por anticientífico el total de naturalistas acreditados, sólo la sospecha es impropia de toda seriedad en la enseñanza.

No nos convence Pfeffer (1) cuando dice en su Introducción «que si nuestra impotencia para comprender el mecanismo de la vida, es un motivo para afirmar una fuerza vital, estamos en el caso del negro australiano, que admite ó supone una fuerza particular en el movimiento de una caja de música ó de un

(1) W. Pfeffer, *Physiologie vegetale*. (Étude des échanges de substance et d'énergie dans le plante.) Traduit de l'allemand, d'après la seconde édition, par J. Friedel: Paris, 1904, pág. 5.

reloj para él incomprensibles.» Y decimos que no nos conviene, porque nosotros creemos y creeremos que para el movimiento de un reloj ó de una caja de música es imprescindible que alguien les dé cuerda, sin la cual ambos instrumentos estarían parados eternamente. Y como al dar cuerda es forzoso comunicar fuerza, en el mismo caso estamos con el protoplasma ó albúmina viva, que para desenvolver su movimiento es necesario é indispensable que alguien se lo haya comunicado.

De consiguiente, si la materia no tiene fuerza para darse movimiento á sí propia en virtud de la inercia, aun cuando en dicha substancia se hallen localizadas otras como corresponde á la existencia de un cuerpo, y la vida con cierta cantidad de materia aparece sencilla y ostensiblemente sin saber cómo, preciso es confesar que el más sabio entre lo humano queda anonadado ante la existencia de tal fuerza misteriosa.

Y como en todo organismo podemos encontrar esta suprema ley: «sin célula no hay vida,» bueno será convenir y fijar de un modo positivo y concluyente que el Creador, artífice universal de todo lo existente, no sólo creó la materia y dictó las leyes que nos sorprenden y maravillan en el mundo sideral, sino que también la organizó cuando le plugo, infundiéndola esa fuerza ó ley vital misteriosísima que ha dado por resultado el mundo de lo viviente y transitorio, constituyendo los reinos biológicos animal y vegetal, para hacernos ver que «no hay vida sin Dios.»

**Manifestaciones de la vida.**—Considerado el protoplasma como la base física de la vida, ésta se manifiesta en aquél en virtud de los fenómenos que en él tienen lugar, y de los cuales los más visibles son el *movimiento molecular incesante* de la masa protoplásmica, y sin cambiar de composición, la elaboración de múltiples y tangibles productos en sus relaciones con el mundo exterior.

De aquí resulta que tomando en general el efecto por la causa, concedamos al protoplasma, *materializando la vida*, todos los fenómenos que le son propios, cuales son: la formación de materiales celulares; el doble movimiento de renovación y destrucción; la virtud de asimilar y descomponer; la incorporación de alimentos en la cantidad y especie que cada elemento celular necesita; la facultad evolutiva y diferenciación histológica; la perpetuidad específica; la resistencia al

medio ó esfuerzo por la vida, etc., etc.; y como partimos de un principio falso, confundimos, claro está, las manifestaciones con la vida misma, que es lo mismo que si no distinguiéramos debidamente lo esencial con lo accidental, la luz y electricidad con sus efectos, y la ciencia no autoriza tan espantosa confusión.

No cabe duda que la vida es mucho más que la materia, y si no es material, sus leyes no pueden ser materiales, y sus fuerzas tienen que ser diferentes, como sus manifestaciones.

La materia organizada elude toda ley matemática; y si en el curso de nuestras lecciones hemos de explicar con la claridad que podamos y las fuerzas ó medios de que dispongamos muchos fenómenos fisiológicos atendiendo sólo á las leyes físico-químicas, bueno será hacer constar que lo hacemos así con el objeto exclusivo de darnos cuenta material, si bien hipotética, de los hechos, pues sabido es, según confesión de C. Bernard, que «los fenómenos de la vida no son reductibles á consideraciones físico-químicas,» y que si en la Física y la Química los átomos y combinaciones son inmutables, en la materia organizada la mudanza es consecuencia de la vida.

Ahora bien: demostrado que el protoplasma es la base física de la vida ó que en aquél se manifiesta ésta, debemos distinguir los diferentes modos de manifestación, y entre ellos podemos enunciar los siguientes:

*Vida activa y latente.*—Dentro de la limitación que caracteriza la vida de los seres, pueden éstos dar evidentes señales de sus continuos cambios con el medio que les rodea, dando origen á los fenómenos más ó menos complejos que se cumplen en el interior del protoplasma, y estamos en el caso de la *vida activa*; ó por el contrario, revelan una casi ausencia de actividad interna por ser lentísimos é inapreciables los cambios con el exterior, quedando el sér en un reposo funcional que recibe el nombre de *vida latente, potencial* (ó *durmiente* de los ingleses), como sucede á las semillas, esporas, animales enquistados, etc.

Dicha vida latente puede considerarse como una muerte aparente ó adormecimiento funcional casi total que está en espera de condiciones de medio favorables para su franca actividad, que de seguir ausentes más allá del tiempo preciso (variable según las especies), se hace tan insostenible y crítica

la situación, que el protoplasma pierde su virtualidad potencial, ocasionando la muerte del sér.

Observemos además que estas fases vitales, activa y latente, se suceden constantemente en grado mayor ó menor en el curso completo de la vida vegetal, tanto individual como específica, sin más que seguir una rápida ojeada sobre su desarrollo.

*Vida aerófila y aerófoba.*—Todos los seres que viven en presencia del oxígeno del aire atmosférico, caso muy general, se dice que son *aerófilos ó aerobios*; mientras que aquellos otros que excepcionalmente vegetan en la ausencia de dicho elemento (*Bacillus amylobacter*), se denominan *aerófobos ó anaerobios*.

Hay seres, sin embargo, que son *facultativamente* aerobios ó anaerobios como, sucede al *Saccaromyces*, aunque, como es natural, modificándose en uno y otro caso, para adaptarse al medio en que se halla, y dando por resultado en su vida aerófila á una multiplicación celular abundante, á más de una total combustión de la glucosa como alimento; así como en la *aerófoba* á un decrecimiento gradual en el desarrollo, á la par que fermentación alcohólica de dicho hidrato de carbono.

En general, toda célula vegetal viva encerrada en un líquido provisto de glucosa y privado del oxígeno atmosférico, es capaz, como la *levadura*, de producir la fermentación alcohólica de dicho alimento, con la única diferencia puramente cuantitativa, cual es que el estado de fermento es habitual en la *levadura* y su poder fermentescible considerable, mientras que en las plantas ordinarias es excepcional, patológica, y la fermentación de corta duración, hasta que por fin muere.

*Vida asfíxica.*—Se entiende con este nombre la fase crítica que atraviesa el vegetal cuando se halla en el vacío, en un gas inerte como el hidrógeno ó nitrógeno, y finalmente en un medio atmosférico cuya cantidad de oxígeno no pase del 2 ó 3 por ciento.

Este período de reacción contra la acción y en que el sér crea la energía necesaria á la resistencia del medio nocivo en que se encuentra, se caracteriza por la cesación del crecimiento, la abolición de los movimientos protoplásmicos, y además, por una emisión continua de anhídrido carbónico independiente evidentemente del oxígeno libre, en el cual la planta

se va debilitando poco á poco, y después de una permanencia más ó menos larga, según su naturaleza y la composición de sus jugos, sucumbe.

Los botánicos consideran como una misma manifestación las vidas asfíxica y anaerobia; afirmando con Pasteur que la fermentación propiamente dicha es la obra química de la vida sin aire ó con aire muy enrarecido.

Suponen que todos los vegetales, considerando la respiración como un caso particular de la nutrición, asimilan el oxígeno del medio en que se hallan; dando lugar á la vida *aerobia* si tan importante elemento vital es absorbido libremente y por respiración del aire atmosférico, y á la vida *anaerobia* ó *asfíxica* si dicho oxígeno es sustraído de la fórmula química de los compuestos orgánicos, en el seno de los cuales se encuentra, en cuyo caso, creando la energía necesaria á la falta respiratoria, provoca la descomposición de los alimentos, originando la fermentación alcohólica con desprendimiento de anhídrido carbónico y á veces formación de ácido butírico con eliminación de hidrógeno y carburos de hidrógeno (fermentación butírica).

Estos fenómenos, sin embargo, tienen en la actualidad otra explicación más satisfactoria, después de los concluyentes experimentos de Eduardo Buchner en el año 1897 y de los cuales daremos clara idea más adelante con el debido detenimiento. Para este sabio, el desdoblamiento de las glucosas en alcohol y anhídrido carbónico es obra sencillamente del fermento amorfo diastásico, llamado *alcoholasa*, elaborado con otros por la levadura.

Con este antecedente, y sabiendo que en todas las células vivas existen fermentos diversos que en condiciones anaerobias producen parecidas fermentaciones, y además que el alcohol en el interior de las células vegetales es abundante cuando las plantas se colocan artificialmente en la fase crítica de vida asfíxica, ¿qué consecuencia se deduce? ¿Por qué no dilatar el campo de acción del fenómeno ó fermentación antedichos en la vida aerobia? ¿No hay también desprendimiento de anhídrido carbónico?

Lógicamente pensando, podemos considerar, en suma, que las células vegetales están en vida en continua fermentación (extendiendo la acepción de esta palabra á todos los resultados



consiguientes á la acción de los fermentos amorfos ayudados con materias minerales) (1), y todo quedaría reducido á suponer que el alcohol formado en el interior de las células á consecuencia del fermento alcoholasa y, que en *vida asfíxica* queda como residuo mortífero de todas ellas según acredita la observación, desaparece á medida que se origina en *vida aerobia*, á favor de la insistente oxidación con el vivificante gas del aire respirable que todos conocemos, para dar lugar á aldehidos transitorios y después á glucosas, ácidos ú otros productos vegetales.

## II

### DIFERENCIAS MÁS CARACTERÍSTICAS ENTRE ANIMALES Y VEGETALES

**Carácter esencial de los vegetales.**—No hay carácter absoluto con el cual se pueda establecer una distinción positiva entre el reino vegetal y animal. Los vegetales y animales forman una tan serie continua, el paso de unos á otros es tan insensible, que reunidos los seres más sencillos de ambos reinos, no hay ojo observador que en el campo microscópico puntualice las diferencias, ni escalpelo, por preciso que sea, que los separe.

Habiendo observado, sin embargo, que la composición química de las membranas envolventes de las células vegetales es característica y de interesantes consecuencias, los botánicos, siguiendo el criterio de Ed. Perrier, adoptan como atributo esencial de los organismos vegetales *la presencia de la celulosa* (hidrato de carbono), *constituyendo las membranas celulares aun cuando sea de un modo transitorio é incompleto*. Las masas protoplásmicas así encerradas son inmóviles necesariamente é incapaces de nutrirse de alimentos sólidos; sólo los líquidos pueden atravesar su membrana, y he aquí el carácter fundamental que permite determinar la esencia vegetal de estos organismos (figs. 1 y 2).

(1) El manganeso en las *oxidases* ó fermentos oxidantes; el calcio en la *pectasa*; el ácido clorhídrico en la *pepsina*, etc.

De modo que para Perrier son *vegetales* los organismos ordinariamente inmóviles, incapaces de tomar alimentos sólidos y formados de plastidios (1) envueltos por una membrana celulósica, y *animales* los organismos móviles cuyos plastidios no están encerrados por membrana celulósica.

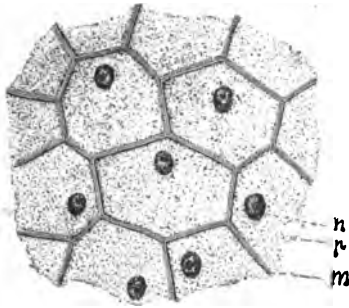


Fig. 1.—Ejemplo de tejido vegetal (tallo del ajo).—*m*, membrana; *p*, protoplasma; *n*, núcleo.

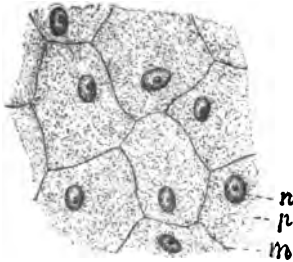


Fig. 2.—Ejemplo de tejido animal (de un conejo).—*m*, membrana; *p*, protoplasma; *n*, núcleo.

Ahora bien: aun cuando sea norma que debemos seguir para la radical separación de vegetales y animales la existencia en los primeros de la membrana celulósica, el valor de este carácter es deficiente, y más que deficiente negativo, si no se sigue gradualmente el desarrollo completo del sér; y ésta es la razón de la excepcional importancia que debemos

dar á las palabras subrayadas anteriormente en el concepto «por transitoria é incompleta que sea,» refiriéndonos á la membrana celulósica.

Así sucede, por ejemplo, que ciertos seres vegetales inferiores, reducidos á un solo plastidio, son móviles como los animales durante cierto período de su vida, no rodeándose de celulosa hasta muy tarde, siendo su presencia de corta duración en algunos casos

(volvocíneas), y en otros parcialmente ó de un modo incompleto (peridíneas) (2); de modo que hasta tanto que el naturalista no haya observado con detenimiento el desarrollo

(1) Plastidios es sinónimo de protoplasmas celulares.

(2) Ed. Perrier, *Traité de Zoologie*, pág. 19.

definitivo del sér, debe cuidarse muchísimo de asignarle á cuál de los reinos animal ó vegetal corresponde.

Otro caso interesantísimo es el de los *Mixomicetos*, llevados por Bary al grupo animal de los Rizopodos con el nombre de Micetozoarios, cuando su lugar propio es el reino vegetal. Y todo por haber observado en ellos durante la primera fase de su existencia, ó el de *mixamibas*, los atributos de la animalidad, como el movimiento de vegetación, el alimentarse de sustancias sólidas y comportarse frente á los excitantes como animales dotados de sensibilidad; siendo así que en la época de plasmodio (1), no sólo forma sus esporas con envolturas celulósicas, sino que también, según Cienkowski, hasta



Fig. 3.—*Stemonitis*  
(hongo mixomiceto).



Fig. 4.—Estado avanzado del  
*Stemonitis*.—p, resto del  
protoplasma; c, cápsulas celu-  
lósicas de las esporas.

las divisiones del plasmodio presenta indicios del dicho hidrato de carbono.

Un hongo muy curioso del grupo mixomiceto es el *Stemonitis*. Este sér se halla en invierno sobre el musgo y hojas secas, y está constituido por una masa protoplásmica que encierra gran número de núcleos y sin celulosa (fig. 3). En esta fase vital y como todos los seres del mismo grupo, se deforma constantemente y al mismo tiempo cambia de lugar recorriendo frecuentemente de dos á tres centímetros por hora, bien para huir de la luz ó para buscar el medio más nutritivo. Más tarde ó en la fase reproductora de su desarrollo evolutivo, ó

(1) Plasmodio es el conjunto de elementos celulares ó protoplasmas sin membrana, característico en los Mixomicetos.

sea en el momento de multiplicarse (fig. 4), dicho organismo posee celulosa, de donde resulta que sólo durante un período más ó menos largo de su vida, el sér está privado de esta substancia ternaria.

Otros muchísimos vegetales inferiores están también desprovistos de celulosa en períodos determinados de su existencia: así sucede que muchas algas, durante corto período de su fase zoosporádica, están constituídas por una masa protoplásmica sin membrana celulósica, siendo esta supresión de la membrana sólo accidental, pues en un momento dado la celulosa hace siempre su aparición.

Finalmente, como la inmovilidad de los vegetales es el carácter que los distingue de los animales, y además la existencia de la membrana celulósica parece ser la causa de dicha inmovilidad, es evidente que el criterio que esté conforme con la idea que tenemos de un vegetal no es otro que el tomado de la presencia ó ausencia de la membrana celulósica.

En suma, consideraremos como *vegetales todos los plastidios capaces de producir una membrana de celulosa, aun cuando sea incompleta ó tenga una existencia corta* (1).

**Distinción con los animales.**—A la definición que acabamos de dar y que permite determinar la esencia vegetal de los organismos, conviene añadir las propiedades distintivas siguientes:

1.<sup>a</sup> Consecuencia de la existencia de la membrana celulósica en los vegetales, ni tienen *sensaciones ni se mueven voluntariamente*, antagonismo completo con los animales que tienen la facultad de *sentir* y de *moverse espontáneamente*. Esta propiedad es característica de los animales, porque ellos pueden producir *movimiento* sin causa exterior que lo determine, y también pueden resistir á esta influencia externa cuando exista dentro de ciertos límites. En cambio, los vegetales no se pueden mover voluntariamente, y de *moverse aparentemente* algunos, es debido á que no pueden resistir los excitantes externos, sean cósmicos, físico-químicos ó mecánicos, sin manifestar la reacción ó *acción refleja* propia de todos los seres organizados por *irritabilidad* del protoplasma, y que en este caso particular se traduce en el movimiento automático que todos conocemos.

(1) Ed. Perrier, *Traité de Zoologie*, pág. 12.

Se entiende por *irritabilidad* de un protoplasma, tanto vegetal como animal, la propiedad que tiene de reaccionar visiblemente con movimientos bajo la influencia de los agentes externos.

La irritabilidad es una propiedad fisiológica ligada á la inestabilidad del protoplasma, y su carácter fundamental consiste en que á una *excitación débil* corresponde una *reacción relativamente considerable*.

Así, por ejemplo, la impresión débil de la hinchazón motora del peciolo de la sensitiva, ó la acción momentánea de una radiación luminosa unilateral en la región terminal de un tallo en vía de crecimiento, representan poca cosa como potencias, comparadas con el esfuerzo que directamente debiéramos hacer sobre la planta para efectuar el descenso entero de la hoja en el primer caso, así como para realizar la curva fototrópica en el segundo.

Los vegetales son además asiento en grados diversos de verdaderas *acciones reflejas*, que se traducen por *movimientos*, consecuencia de impresiones producidas por excitantes cósmicos (luz, calor, electricidad), fisico-químicos (agua á diferentes temperaturas, substancias químicas disueltas) y mecánicos (choques, presiones, picaduras), ó por *modificaciones de estructura*, consecuencia esta última en general de excitaciones producidas por la presencia de seres parásitos ó por cambios de medio ambiente.

Aun sustituyendo la palabra *sensibilidad* por la de *irritabilidad*, no se puede afirmar que las impresiones ejercidas sobre las plantas por los agentes externos en el caso de una reacción inmediata y profunda, sean acompañadas de una elaboración sensorial ó de un rudimento de percepción; y sí puede admitirse en los animalillos, aun los más sencillos (infusorios, pólipos), á causa de la modalidad de sus movimientos.

En efecto: el movimiento de un infusorio ofrece variedad de intensidad, de forma y de dirección; se amolda directamente á las necesidades del organismo, y parece que está poseído de un principio ó rudimento de percepción y de voluntad. En cambio, si en una bacteria, zoospora ó sobre la planta llamada sensitiva, se pone en juego un excitante cualquiera, inmediatamente se traduce con regularidad automática en un movi-

miento no sensitivo, como repercusión pura y simple de la excitación y sin apariencia de elaboración íntima.

La fusión misma de los gametos (corpúsculos reproductores) tampoco implica intervención consciente, supuesto que los movimientos de que están en general afectos son simples fenómenos de afinidad de materia, algo así como influencias magnéticas, eléctricas ó atracciones ejercidas por excitaciones químicas, como lo prueba el hecho de acumularse con preferencia algunos anterozoides en una disolución muy diluída de ácido málico.

De todo lo cual se infiere, finalmente, que en contra de lo que sucede en los animales, las reacciones motiles de las *plantas* se verifican con regularidad automática, como repercusiones de las excitaciones recibidas, y que son enteramente inconscientes ó no acompañadas de elaboración sensorial ó rudimentos de percepción.

2.<sup>a</sup> Los *vegetales* son seres vivientes capaces de tomar directamente del mundo inorganizado las materias (anhidrido carbónico, sales disueltas en el agua del suelo) que sirven para constituir su substancia (almidón, grasa, albúmina), fuera de aquellos casos que, como las plantas *parásitas* y *saprófitas*, reciben respectivamente de sus víctimas ó del medio en que se encuentran, nutrición exclusivamente orgánica. Los *animales*, por el contrario, producen anhidrido carbónico que la planta necesita; se alimentan de substancias organizadas (carnes, vegetales, etc.) que desorganizan, y devuelven al reino mineral, ya en forma de gases que van á la atmósfera, ya de residuos que se marchan al suelo.

3.<sup>a</sup> *Todos los seres vivos desprenden fuerzas vivas*: por consiguiente, no es absoluto el principio anterior por el cual todos los animales desorganizan, y efectúan lo contrario los vegetales. Según Beaunis, la relación entre la cantidad de fuerzas vivas producidas por un organismo y sus cambios materiales se determina con exactitud, pues á una cantidad dada de movimiento, corresponde, por ejemplo, otra fija de carbono oxidado.

En los *vegetales*, sin embargo, *el desprendimiento de fuerzas vivas es insignificante*: así se observa que accidentalmente se produce calor (durante la germinación y floración), fosforescencia (en varias especies del género *Agaricus*, *Photobac-*

terium, etc.) y movimientos protoplásmicos. En cambio, en los *animales* dicho desprendimiento es muy grande.

El papel esencial de las plantas es *transformar continuamente las fuerzas vivas* (radiaciones solares) en *fuerzas de tensión*, es decir, que acumulan la fuerza para almacenar materia, ó aprisionan ciertas radiaciones solares para dar origen por intermedio de la materia verde á la síntesis de los hidratos de carbono; siendo así que los *animales* utilizan los alimentos para la producción de fuerzas (movimiento, calor, luz, electricidad, inervación), resultando que transforman las substancias alimenticias como fuerzas de tensión en fuerzas vivas.

4.<sup>a</sup> Como consecuencia del principio anterior, la asimilación en los *vegetales supera á la desasimilación*, y el crecimiento puede continuar durante toda la vida de los seres. Esta asimilación se efectúa principalmente en las partes verdes bajo la influencia de la luz, dando por resultado una reducción de substancias absorbidas con eliminación de oxígeno; de lo cual resulta que la planta purifica el aire y empobrece el suelo; y para favorecer tan interesante función, fijándose sólo en la *asimilación clorofiliana*, los vegetales tienden á desarrollarse en superficie con objeto de multiplicar sus puntos de contacto con el medio que les rodea.

Las plantas también organizan y ganan más de lo que gastan ó pierden; y comparados, finalmente, los dos últimos caracteres diferenciales entre animales y vegetales, se nota entre ambos reinos una polaridad funcional tan marcada, que á ella se debe el maravilloso equilibrio natural y biológico, en virtud del cual la ausencia de uno traería aparejado indefectiblemente el fin del otro.

5.<sup>a</sup> Los vegetales *tienen una tendencia señalada al polizoísmo*, ó sea á la representación de colonias de seres semejantes ó agregados de individuos idénticos. Así, por ejemplo, todos los ramos de un año desarrollados en cualquier árbol adulto, tienen una estructura comparable á la de un individuo de la misma edad y nacido por semilla; y he aquí la razón de disociar ó separar estas partes semejantes para dar lugar á la multiplicación artificial de las plantas por estaca ó por acodo.

Los animales, en cambio, tienden á ser prototipos de *individualización*, por más que se hallen casos de verdadera colonización (corales, estrellas de mar, solitaria, etc.)

6.<sup>a</sup> *Los vegetales se someten en grado máximo á la influencia del medio, dando lugar á una variabilidad considerable (1).*

Toda planta, debido á su inmovilidad, tiene que adaptarse forzosamente al medio que las circunstancias le han colocado al nacer, pues de lo contrario necesariamente muere; y mientras unas se localizan en zonas determinadas y circunscritas, en atención á la suma de grados de calor al cabo de un año, otras menos exigentes se diseminan por todá la superficie del globo.

Así se comprende que los *vegetales inferiores* ocupen en general un área geográfica muy extensa, porque pueden vivir indistintamente en todos los medios (aire, tierra, agua, animales, vegetales), ya por su mayor resistencia á temperaturas extremas, ya por su fácil paso de vida activa á latente.

En cambio, los *vegetales superiores* tienen un área de dispersión más limitada, constituyendo regiones botánicas más ó menos precisas; y si en algunos se extiende á veces su radio de acción dispersivo ó geográfico más allá de los límites generales, la consecuencia es experimentar variaciones tanto más profundas, cuanto más distintos son los medios de adaptación.

**Cuadro comparativo diferencial.**—En bosquejo ó en resumen, vamos á exponer en el siguiente cuadro los caracteres diferenciales de los dos reinos vegetal y animal (2):

(1) La *Capsella polymorpha* Cav. ostenta multitud de formas á causa de su gran área de dispersión.

(2) Véase H. Beaunis, *Nouveaux elements de Physiologie*, tercera edición.



## VEGETALES

- 1.º Protoplasma produciendo membrana celular de naturaleza celulósica, por lo menos temporalmente.
- 2.º Sin locomoción.
- 3.º Sin sensibilidad.
- 4.º Protoplasma produciendo generalmente clorofila.
- 5.º Absorción de alimentos minerales.
- 6.º Eliminación de oxígeno.
- 7.º Predominio de la asimilación.
- 8.º Crecimiento proporcional á la edad.
- 9.º Desprendimiento débil de fuerzas vivas (calor, fosforescencia, movimientos protoplásmicos).
10. Transformación de las fuerzas vivas en fuerza de tensión (utilizan las fuerzas vivas ó radiaciones solares para efectuar la síntesis de los hidratos de carbono, etc.)
11. Influencia considerable del medio en que viven, lo que da gran variabilidad de formas.
12. Tendencia al polizofismo.

## ANIMALES

- 1.º Protoplasma no produciendo membrana celular de naturaleza celulósica.
- 2.º Con locomoción.
- 3.º Con sensibilidad.
- 4.º Protoplasma no produciendo clorofila.
- 5.º Absorción de alimentos organizados por los vegetales.
- 6.º Eliminación de agua, anhídrido carbónico y amoniaco.
- 7.º Predominio de la desasimilación.
- 8.º Crecimiento rápidamente limitado.
- 9.º Desprendimiento intenso de fuerzas vivas (movimiento, calor, luz, electricidad, inervación).
10. Transformación de las fuerzas de tensión en fuerzas vivas (utilizan los alimentos como fuerzas de tensión para la producción de las fuerzas vivas enumeradas en la diferencia anterior).
11. Influencia pequeña relativamente con el medio en que viven, y de aquí una variabilidad débil.
12. Tendencia á la individualización.

## III

## DIVISIÓN Y SUBDIVISIONES ESTABLECIDAS EN LA BOTÁNICA

**Definición de la Botánica.**—Se da el nombre de *Botánica* ó *Fitología* á la parte de la biología que tiene por objeto el estudio de las plantas, ó sea la historia natural del reino vegetal.

**Importancia.**—Pocas palabras han de servir para demostrar la utilidad que los vegetales reportan al hombre, y deducir como consecuencia la importante necesidad de su estudio.

En efecto: todos saben que muchas plantas son el sustento del hombre y de los animales (patata, judía...); que de ellas se extraen productos empleados en medicina (atropina, quina...); que otras son la materia prima para determinadas industrias, ya sea azucarera (remolacha, caña de azúcar), textil (lino, cáñamo, esparto, pita...), tintórea (rubia, gualda, alazor...), corcho-taponera (alcornoque), etc.; que todas son la base de la ornamentación de jardines y paseos, atrayendo los sentidos de los visitantes por la fragancia de su néctar y vistosa coloración de sus corolas; y, en fin, que si á todas estas utilidades añadimos la más principal bajo el punto de vista científico, cual es la de que las plantas son los purificadores naturales del aire que respiramos, no cabe duda que á la vista de tan consoladores servicios, el estudio de las plantas es de los más grandes entre las ciencias naturales.

**División.**—Se divide la botánica en *general* y *especial*.

La botánica *general* es la parte de la biología vegetal que tiene por objeto estudiar la forma, estructura, origen y desarrollo de la planta, con los fenómenos que en ella se verifican y los que se cumplen entre sí, y el medio en el cual vive.

La botánica *especial* se ocupa de la distinción ordenada de los grupos vegetales en armonía con sus analogías y diferencias, de la dispersión de las plantas en el tiempo y en el espacio, de sus aplicaciones, y, finalmente, de todas aquellas particularidades ó especialidades que redunden en beneficio del más amplio conocimiento de las especies en la serie vegetal.

Las subdivisiones de ambas partes para su mayor claridad vamos á exponerlas en el cuadro siguiente:

*Citología*: estudio de la célula como sér vivo é independiente.  
*Histología*: idem de los tejidos.

normal

{ externa: conformación exterior.

{ interna: estructura ú organización interna.

estática  
(organográfica)

anormal *Teratología*: estudio de las monstruosidades de los órganos.

General

normal *Fisiología*: estudio de las funciones en estado de salud { externa.  
 { interna.

dinámica  
(fisiológica)

anormal *Patología*: idem de las causas que contribuyen al estado morboso ó alteración funcional.

**Botánica**

*Taxonomía*: estudios de las clasificaciones ó grupos que de las plantas se hacen.  
*Fitografía*: idem de las descripciones de los vegetales.

sistemática

*Geografía botánica*: dispersión de las plantas en el espacio.

topográfica

*Paleontología vegetal*: idem id. en el tiempo.

tecnológica: aplicación á la medicina, industria, agricultura, montes, etc.

Especial

Una simple ojeada sobre el esquema que acabamos de dar á conocer, nos enseña que la *Citología* ocupa el primer lugar de la serie de conocimientos que integran la botánica; y como por el título del presente libro corresponde estudiarla con detenimiento, indicaremos someramente las partes que á ella corresponden.

En la *Citología* que se ocupa de la célula atenderemos á sus dos puntos de mira: *estático* y *dinámico*. En sentido *estático* describiremos el *concepto anatómico* de la célula, ó sea el estudio del continente y contenido celulares, algo así como la morfología externa é interna de tan interesante elemento considerado como individuo aislado ó asociado. Después miraremos á la célula en sentido *dinámico* ó bajo el punto de vista *fisiológico*, es decir, como sér libre que ejerce funciones independientemente de los demás, analizando aquéllas que se operan en el interior de la célula como las consiguientes á las relaciones funcionales con el medio que le rodea. Y finalmente, dentro de la dinamicidad celular ó en el *concepto genético*, estudiaremos cómo se multiplica y regenera este organismo autónomo para dar lugar á otros seres semejantes á él, asociándose en muchos casos como sillares del edificio estructural para formar tejidos.

La *histología* trata del estudio de los tejidos, ó sea de la reunión de células ó elementos anatómicos con las diferencias propias y que surgen á consecuencia de la pérdida de vida autónoma del elemento asociado por la división del trabajo fisiológico; pero siempre de un modo general y sin entrar en detalles respecto á las múltiples variaciones que en el orden de colocación conservan estos elementos histológicos en la estructura de las diversas regiones ú órganos de las plantas.

La *Morfología* es la ciencia de las formas vegetales.

Se subdivide en dos ramas: *morfología externa* ó morfología propiamente dicha, consagrada especialmente al estudio de la configuración exterior del cuerpo; y *morfología interna*, que se ocupa de la estructura ú organización interior.

La *morfología interna* comprende dos partes: de un lado la *anatomía é histología*, designándose con el primer nombre el estudio de las diversas regiones de la estructura (corteza, madera...), y con el segundo el conocimiento detallado y de orden más íntimo, ó sea de los elementos anatómicos ó células dife-

renciadas ó no de estas regiones; y de otro, la *organogenia* y *embriogenia*, ó sea la descripción histológica gradual de la formación de las regiones, ya de los órganos de los seres, ó de los seres mismos respectivamente.

La morfología interna descansa en el examen microscópico de cortes delgados practicados según convenga en cualquier dirección del cuerpo, con la ayuda de unos instrumentos llamados *microtomos*, que permiten obtener láminas delgadas hasta de una centésima de milímetro si se quiere. Estos cortes, colocados en su porta y cubre respectivos, se observan directamente en una gota de agua, de glicerina diluída, etc., bajo el campo microscópico, ó son previamente sometidos á una técnica especial que tiene por objeto hacer resaltar mejor los detalles de estructura (bacteriáceas, diatomáceas); ó antes de hacer los cortes, si conviniera, sean aislados ó seriados practicando con la debida perfección *inclusiones* en parafina ó celoidina, ya de *penetración* ó de *englobamiento*, usando en uno ú otro caso de disolventes mediadores como el éter y cloroformo.

No es pertinente á nuestro objeto entrar en pormenores sobre el particular, pues la práctica es el todo, ni tampoco hacer un estudio completo del microscopio, tanto de los diferentes modelos según las casas constructoras, como de los distintos objetivos y oculares, ni de los diversos aparatos de iluminación, como de los de proyección y fotografía hoy tan en boga; sólo sí diremos, para terminar, que la *técnica micrográfica botánica*, bastante compleja y cada día más floreciente, consiste esencialmente en el empleo de reactivos  *fijadores* que, como el alcohol, ácido pícrico, etc., dan más consistencia á las sustancias sometidas al estudio, especialmente al detalle de la estructura íntima y *materias colorantes*, bien simples, como el carmín, hematoxylina, fuchsina, zafranina, azul de anilina, verde de metylo, etc., bien dobles, como la picro-nigrosina, picro-eosina, etc., que se fijan con elección y de un modo permanente ó transitorio sobre uno ú otro de los elementos de estructura.

Importantes progresos han sido realizados en la ciencia anatómica é histológica vegetal, gracias á la intervención de la técnica, y buena prueba dan con sus trabajos en el extranjero Strasburger, Guignard, Van-Tieghem, Girod, Hérail et Bonnet, y otros muchos que sería prolijo enumerar.

La *Fisiología* tiene por objeto conocer el conjunto de las funciones orgánicas que constituyen la *vida* de las plantas.

Estas funciones en los vegetales son de *nutrición* y de *reproducción*, según que tengan por objeto la conservación del individuo ó la de la especie, careciendo en absoluto de las funciones de *relación* que ejercen los animales, y mediante las que se comunican con sus semejantes y conocen el mundo exterior.

Sin embargo, la fisiología vegetal la estudiaremos de un modo *general*: en primer lugar, porque tanto los órganos de nutrición (raíz, tallo, hojas), como los de reproducción (flor, fruto), tienen las mismas funciones nutritivas; y en segundo, porque aquí los *órganos* son una suma de funciones nutritivas, como los *aparatos* suma de tejidos; lo que no sucede con el animal, en el que cada órgano tiene su función determinada (hígado), ó el *aparato* (suma de órganos) desempeña una función (aparato digestivo). De lo cual resulta que no se pueda sin una repetición que empañaría la claridad, estudiar á continuación de un órgano vegetal sus diferentes funciones.

Únicamente allí donde pueda haber verdadera independencia (células), allí donde los órganos tengan funciones exclusivas (órganos reproductores), allí creemos sea el lugar donde estén hermanados en apretado lazo el órgano y su función.

En la Fisiología se puede distinguir la Fisiología *externa* de la *interna*: la primera se refiere á los fenómenos que se cumplen entre el sér vivo y el medio ambiente; la segunda á los fenómenos que se desarrollan en el interior mismo del cuerpo.

Así tenemos, por ejemplo, que la respiración comprende, de una parte, el conocimiento de las modificaciones que experimenta la atmósfera en presencia de la planta (Fisiología *externa*), y de otra, el estudio de las acciones ejercidas en el seno mismo de la planta por el oxígeno absorbido (Fisiología *interna*).

Conocido el orden y caracteres de las partes más esenciales que corresponden á la Botánica general, y puntualizado, por tanto, el lugar que ocupa en esta rama del saber la Citología vegetal, damos fin á los tres puntos de vista que nos han servido de introducción, para entrar de lleno en el conocimiento que los alumnos de nuestra Facultad de Ciencias deben tener respecto á los tres conceptos anatómico, fisiológico y genético de la célula vegetal, ó sea de la morfología y fisiología celulares.

# CITOLOGIA VEGETAL

---

## MORFOLOGIA Y FISILOGIA CELULARES

*Eum (Deum) expergefactus  
transeuntem a tergo vidi et obstu-  
pui! Legi aliquot ejus vestigia per  
creata rerum in quibus omnibus,  
etiam in minimis ut fere nullis,  
quæ vis! quanta sapientia! quam  
inextricabilis perfectiol*

LINNÉ.





## CITOLOGIA VEGETAL

**Definición.**—Se da el nombre de *Citología vegetal* á la parte de la botánica general que tiene por objeto el estudio de la célula, ya se considere como organismo autónomo, ya se halle asociada ó confederada, constituyendo los organismos pluricelulares.

En el primer caso, distinguiremos á la célula bajo los puntos de vista morfológico ó anatómico, fisiológico y genético; en el segundo, concretaremos únicamente nuestra mirada á las diferencias morfológicas que, resultantes de la asociación y originadas por la pérdida de vida autónoma, son correlativas á la división del trabajo fisiológico.

Antes, sin embargo, y para tener una idea más acabada de la célula, nos será lícito admitir el *concepto químico* para saber de qué elementos simples consta y de qué modo están al parecer agrupados, dando lugar á los factores integrantes de su materia organizada, así como á la múltiple variedad de sustancias orgánicas.

**Concepto químico de la célula.**—Estudiada la célula en este sentido, podemos definirla diciendo que es *la retorta vital en donde, con reducidísimo número de elementos simples, se elaboran con extraordinaria facilidad multitud de sustancias orgánicas y algunas organizadas* (1).

Distinguen á estas sustancias, en primer lugar, la diversa agrupación atómica de sus moléculas, pues con la misma composición cualitativa y cuantitativa forman cuerpos isómeros muy distintos (almidón, inulina, etc.), y en segundo, la enorme magnitud molecular de algunas de ellas; razón por la que tanto la molécula de carbono como la de nitrógeno, y más

(1) Son *sustancias organizadas* todas aquéllas que se encuentran en la célula formando parte esencial de su constitución, y entre las cuales podemos considerar, además del *protoplasma* como material más activo, los *plasmidos, núcleo y membrana celular*. Y sustancias orgánicas aquéllas que no forman parte esencial de las células, aun cuando sean elaboradas por éstas en sus relaciones con el medio que las rodea, como el almidón, inulina, aleurona, etc.

ésta que aquélla, admiten multiformes combinaciones que, á más de dar origen á diversos productos orgánicos, están sujetos en el proceso químico vital á una inestabilidad incesante ó desmoronamiento gradual, sin llegar á la simplicidad de sus componentes.

Pero donde la *inestabilidad* se sintetiza principalmente, es en el factor matriz de todas las sustancias en la célula encerradas, ó sea en el protoplasma; y ya se reconozca como causa de su inestabilidad la molécula de carbono, ya se suponga la de nitrógeno como más racional, siempre resulta que la agrupación atómica de su materia organizada está sin punto de reposo, destruyéndose y reconstruyéndose, pudiendo imaginarse al protoplasma, como dice muy bien Carracido, á un explosivo manso que, con tasa y medida, excitado por los estímulos incidentes, á la manera de la dinamita por el fulminante, produce pequeñísimas y continuas explosiones, mantenedoras de los trabajos peculiares al proceso metabólico (1) de la vida.

**Elementos citológicos.**—Los elementos de que están constituidas químicamente las células vegetales, son de órdenes *químicos y orgánicos*.

α. Son *químicos*, llamados también *fitogénicos*, los cuerpos simples que, por su existencia constante en los vegetales, se conceptúan como capaces de constituir su materia organizada; entre ellos tenemos el C. O. H. N. S. Ph. Cl. K. Ca. Mg. F. Si. Mn.: total, trece.

Para deducir que estos cuerpos simples son los constitutivos de las plantas, se han seguido dos métodos que se complementan: el *analítico* y el *sintético* (2).

I. *Método analítico.*—Se elige en este método, mejor que una célula, una planta entera vascular, porque la composición química de las células en todas las partes de su cuerpo no es siempre la misma, á causa de regionalizarse el laboreo de de-

(1) *Metabolismo* es el proceso nutritivo de los seres, llamando *anabolismo* el período asimilativo y *catabolismo* el desasimilativo.

(2) El *sinc* se encuentra en las plantas que crecen en los terrenos en que abunda este elemento, y de aquí los nombres científicos de *Viola calaminaria*, *Thlaspi calaminaria*, etc.

El *manganeso* es abundante en los peciolos de las hojas del *Nelumbium*, *Nymphaea*, *Victoria*, *Hydrocaris*.

terminados productos orgánicos consiguientes á la división del trabajo confederado, y además, porque toda célula en sí no es completa en la totalidad de substancias formadas, ni tampoco es cantidad hábil por lo microscópica para someterse al análisis químico.

El procedimiento seguido es sencillísimo: se determina la cantidad de agua de la planta, desecándola en una estufa á la temperatura de  $110^{\circ}$ , y se repite la operación hasta que no pierda de peso. La planta seca se somete después á la calcinación, determinando con cuidado el anhídrido carbónico y vapor de agua desprendidos en forma de gases, y, por último, las cenizas resultantes se someten al análisis.

II. *Método sintético*.—Este método, siguiendo un sistema contrario al anterior, determina directamente la composición cualitativa de la planta por las substancias que necesita para vivir.

Con dicho objeto, y pudiendo tomar como base el resultado del análisis cualitativo y cuantitativo de las cenizas del vegetal que sirve de estudio, se prepara un cultivo especial con substancias químicamente definidas, y en él se coloca el sér para que con dicho medio alimenticio adquiera el máximum de desarrollo.

Otros cultivos especiales, en los cuales no entran alguno ó algunos de los compuestos del primero, nos hará juzgar por el desarrollo del vegetal si le son ó no necesarios, llegando de este modo á los estrictamente indispensables.

Este método, al mismo tiempo que disipa cuantas dudas ha podido dejarnos el anterior, determina de un solo golpe todos los elementos necesarios á la vida de los seres.

Es conveniente también no olvidar que la planta elegida debe estar desprovista de clorofila para que no empañe los análisis la facultad de este pigmento, por la influencia de la luz, de descomponer el  $CO_2$  fijando el carbono. Por esta razón, se consideran los hongos como materia abonable para estos análisis; y como ejemplo de cultivos, se presenta aquí la fórmula del líquido Raulin (1), propuesta por su autor para el desarrollo del *Sterigmatocystis nigra* (*Aspergillus niger*):

(1) Raulin, *Études chimiques sur le végétation* (Ann. des sc. nat., serie II, 1870).

## Oxígeno del aire.

|                          |      |                          |      |
|--------------------------|------|--------------------------|------|
| Agua.....                | 1500 | Carbonato magnésico..... | 0,40 |
| Azúcar cande.....        | 70   | Sulfato amónico.....     | 0,25 |
| Acido tartárico (1)..... | 4    | — de zinc.....           | 0,07 |
| Nitrato amónico.....     | 4    | — hierro.....            | 0,07 |
| Fosfato amónico.....     | 0,60 | Silicato potásico.....   | 0,07 |
| Carbonato potásico.....  | 0,60 | Carbonato de manganeso.  | 0,07 |

aa. Son *orgánicos*, llamados también *principios inmediatos*, todas las combinaciones complejas de orden binario, ternario, cuaternario, etc., que se encuentran naturalmente constituyendo los factores integrantes de las células y de la materia organizada en general.

De la suma de los elementos químicos fitogénicos agrupados de multitud de modos, se originan las sustancias orgánicas ó principios inmediatos.

Se separan en química orgánica unos de otros estos cuerpos, siguiendo el procedimiento de la análisis inmediata; pero bueno será advertir que si grande es la probabilidad en su disociación, nunca hay en ello absoluta certeza, porque dada la inestabilidad de estas sustancias, pueden considerarse como tales otros productos originados por la ruptura de aquéllas efectuadas en el acto analítico (2).

Para concluir: como de la reunión de estos elementos orgánicos, en número y cantidad variables, resultan las unidades llamadas *células*, y éstas en último extremo, bien aisladas ó confederadas, constituyen todos los organismos, tanto vegetales como animales, se comprende el fin que nos ha guiado para indicar á la ligera el concepto químico de tan interesantes individualidades que, con el nombre de *elementos anatómicos*, son

(1) El ácido tartárico está colocado aquí, no como alimento, sino con el objeto de dar cierta acidez favorable á la planta, al mismo tiempo que impide el desarrollo de bacterias.

(2) Estudiaremos someramente las distintas sustancias orgánicas á medida que vayamos explicando ordenadamente las diferentes partes anatómicas de la célula, relacionando de este modo dichas partes con los derivados que resultan de sus funciones especiales, y ofreciendo la ventaja de no castigar la memoria con prematuras listas de cuerpos cuyas propiedades se irán conociendo gradualmente.

hoy objeto preferente de estudio en la parte denominada *citología* ó *elementología*.

**Conceptos anatómico y fisiológico.**—Si recogemos de la superficie de las piedras y del suelo, del álveo y bordes de los riachuelos, ó sobre la corteza de los árboles y tierra constantemente húmeda, unas manchas verdosas que son producidas por el alga unicelular *Protococcus viridis*, y la distribuimos al propio tiempo que depositamos una gotita de agua sobre un cristal rectangular (porta-objetos), poniendo encima la correspondiente laminita cuadrada ó circular (cubre-objetos); si todo esto, finalmente, lo colocamos sobre la platina de un microscopio convenientemente preparado, y enfocamos para observar, veremos un sinnúmero de cuerpecitos esféricos separados ó separables, en los cuales se distinguen tres partes bien distintas: una cubierta continua delgada é incolora, llamada *membrana celular*; un contenido mucilaginoso, granuloso y verde en su conjunto, denominado *protoplasma*, y una masa diferenciada más pequeña que recibe el nombre de *núcleo*. El examen más detallado con auxilio de un objetivo de mayor apertura numérica, acusa en el protoplasma dos clases de corpúsculos totalmente diferentes: unos, llamados *plasmitos* (1), son los productores y á veces portadores de algunos cuerpos orgánicos como el almidón, etc.; y otros, denominados *hidroplasmitos*, son vacuolas rellenas de un líquido (jugo celular) que se han formado expresamente para suministrar al protoplasma las substancias absorbidas del medio exterior. Más si con un objetivo de inmersión profundizamos y penetramos en lo más recóndito del protoplasma, ó sea en su maravillosa arquitectura, veremos que está constituido por una finísima red con función totalmente distinta á la que desempeña el líquido incoloro sembrado de granulaciones que rellena sus mallas. Y como todas estas partes están enlazadas armónicamente y subordinadas á cumplir funciones especiales cuyas finalidades son absolutamente precisas para la vida de la célula, he aquí la justificación del *concepto anatómico* de la misma (fig. 5).

Más todavía: si en lugar del *Protococcus* observamos los pelos estaminales de la *Tradescantia virginica*, los peciolares

(1) Los *plasmitos* ó *leucitos* se miden, como todos los cuerpos intracelulares, por *micras*, ó sea por milésimas de milímetro.

del *Chelidonium majus* (fig. 6), ó los de la calabaza, y fijamos nuestra atención en uno cualquiera de los corpúsculos que anidan en el protoplasma, percibiremos que cambia de lugar, es decir, que se mueve con una velocidad que puede ser sensiblemente creciente si tenemos cuidado de calentar ligeramente la

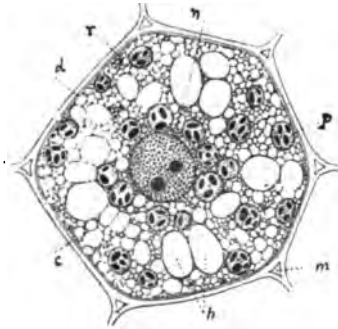


Fig. 5.—Una de las células del tallito joven del *Lupinus albus*.— *c*, membrana; *d*, dermaplasma; *r*, red protoplásmica; *p*, plasmidios verdes con almidón; *b*, hidropasmios ó vacuolas de jugo celular; *n*, núcleo con dos nucleolos; *m*, meatus.



Fig. 6.—Una de las células del pelo del *Chelidonium majus*; las flechas indican la dirección del movimiento.

preparación; y como el fenómeno se realiza en todos los corpúsculos de la masa protoplásmica, resulta evidentemente que toda la masa del protoplasma se mueve en el interior de la membrana celular, para ponerse en comunicación con el exterior. Esta movilidad, juntamente con la manifestación hecha anteriormente respecto al funcionamiento de las distintas partes de la célula, viene en confirmación del *concepto fisiológico* celular.

En fin, si auxiliándonos de los métodos de fijación y teñido que enseña la técnica micrográfica, sorprendemos á los núcleos como factores importantes de la vida de la célula en sus maravillosos procesos de división ó multiplicación celular; en una palabra, si sometemos

á la acción de cualquiera de los reactivos siguientes, verde de metilo acético, líquido de Flemming, ácido ósmico, etc., á los núcleos de las células en vía de crecimiento ó á los de las células terminales de los pelos antedichos, comprobaremos el *concepto genético*, según el cual toda célula procede de otra célula anterior por simple partición ó segmentación del núcleo y protoplasma respectivos, en confirmación del aforismo de Vir-

chow, *omnis celula e celula*, ya iniciado por Raspail, Mirbel y Dutrocher en 1825, y comparable al de Harvey, tan conocido: *Omne vivum ex ovo*.

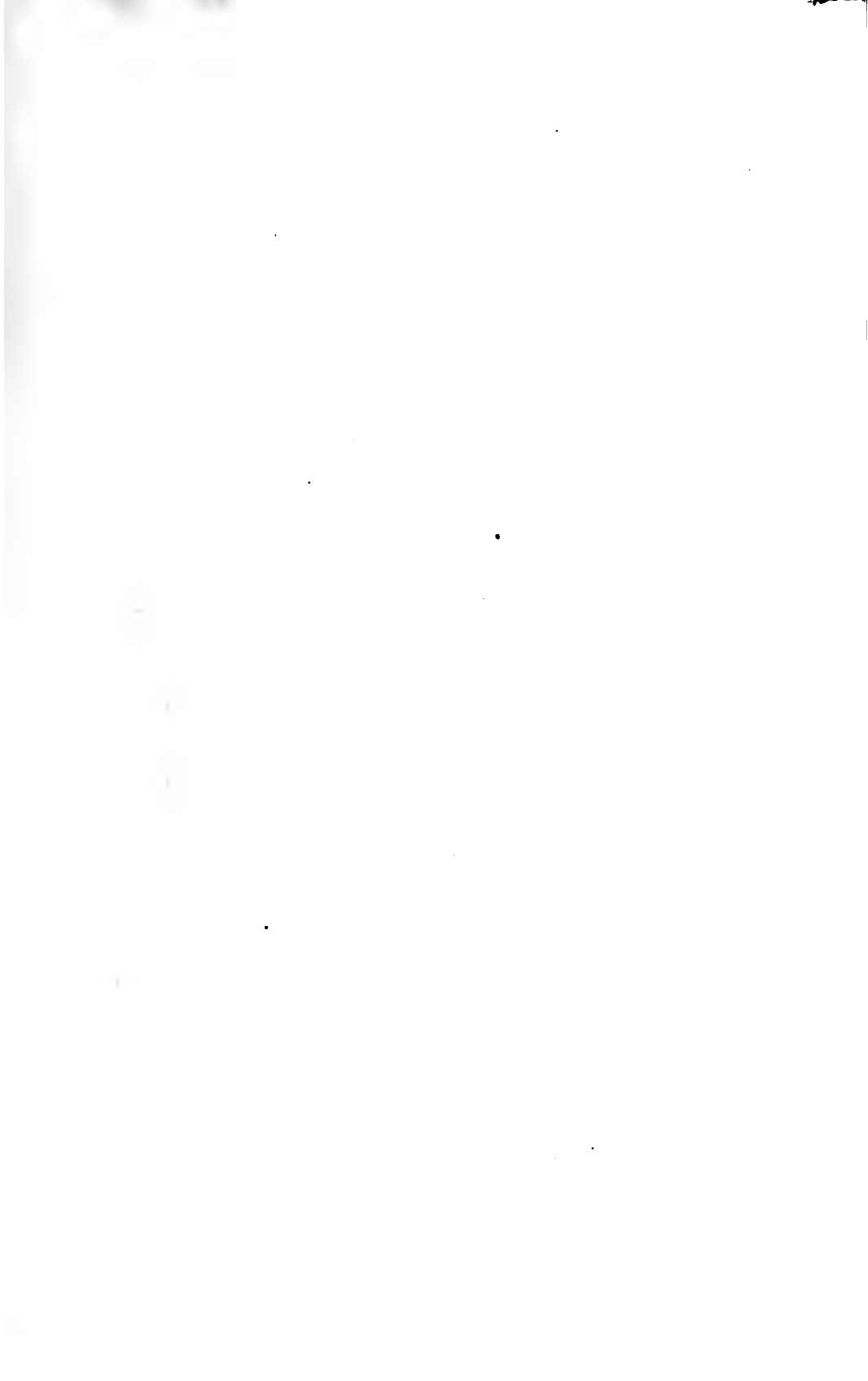
La célula es, según esto, la unidad morfológica de la vida, que puede vivir autónoma é independiente en los seres unicelulares (*Protococcus, Bacterium, etc.*), ó confederada en los organismos pluricelulares, llevando consigo, á consecuencia de esta asociación y por pérdida de su autonomía, esa diversidad de formas adaptables á la división del trabajo fisiológico, así como á la conservación y reproducción de la entidad colectiva.

En suma: se puede definir la célula en sus conceptos anatómico, fisiológico y genético, diciendo que es *todo sér ó corpúsculo generalmente microscópico, dotado de vida individual propia libre ó asociada, y formado de tres partes esenciales y organizadas: protoplasma, núcleo y membrana*. Esta membrana es de naturaleza celulósica en los vegetales y albuminoidea en los animales.

**Partes de la Citología.**—De lo dicho se infiere que para el estudio completo de la célula debemos dividir la Citología en tres partes: *morfología celular*, que comprende el examen de la membrana, protoplasma y plasmitos, jugo celular, núcleo y centrosomas (1), como porciones que integran la célula vegetal y que constituyen en cierto modo la anatomía del sér microscópico; *fisiología celular*, que da á conocer los fenómenos que en el interior de la célula se producen, y los que se realizan entre ella y el mundo exterior como sér libre é independiente; y *citogénesis*, que tiene por objeto el estudio de los diversos procedimientos de reproducción ó multiplicación celulares (2).

(1) Al núcleo suelen acompañar dos corpúsculos esféricos de pequeña talla, llamados *centrosomas* ó *corpúsculos polares*, envueltos cada uno de su protoplasma respectivo (*esferas de atracción*); y como en la reproducción desempeñan una función directriz, han sido denominados por Guignard con el nombre de *esferas directrices*.

(2) La citogénesis, como actividad funcional, corresponde de lleno á la fisiología celular; pero es tan interesante esta parte citológica, que bien merece capítulo aparte, con lo cual no hacemos más que seguir las enseñanzas del gran citólogo Carnoy.





PARTE PRIMERA  
MORFOLOGÍA CELULAR

SECCION PRIMERA

MEMBRANA CELULAR

CAPÍTULO PRIMERO

ORIGEN, FORMA Y CRECIMIENTO

**Origen.**—La membrana celular es originada por una secreción y transformación de la capa hialina y periférica del protoplasma, llamada *dermatoplasma*.

Es en un principio delgada y permeable, estableciendo la comunicación osmótica ó el mutuo cambio entre el exterior é interior de la célula; pero con el tiempo y según las condiciones de medio á que ha de ajustarse, adquiere la consistencia y modificaciones convenientes á las necesidades del vegetal.

Belzung (1), aceptando las ideas emitidas por Wiesner en 1886 (2), que á su vez están basadas en anteriores observaciones de Krasser, admite en el protoplasma dos capas: la externa, ó *dermatoplasma*, y

(1) Belzung, *Anatomie et physiologie vegetales*: Paris, 1900, pág. 402.

(2) Wiesner, *Untersuchungen über die Organisation der vegetabilischen Zellen*. *Sitz. d. K. Ak. d. Wiss. zu Wien*, 1886.

— *Versuch einer Erklärung der Wachstums der Pflanzenselle*. *Sitzungsan-  
zeiger d. math. nat. Cl. der Kais. Ak. d. Wiss. zu Wien*.

— *Berichte d. d. Bot. ges. Züill.*, 1890.

— *Die Elementarstruktur und der Wachstums der lebenden Substanz* *Wien*,  
1892.

la interna, ó *citoplasma*, ambas albuminoideas, separadas por una zona hialina de función especialísima, denominada *tonoplasma*.

El *dermatoplasma* es una capa hialina albuminoidea sembrada de granulaciones vivas elementales, llamadas *plasomas*, que más tarde se convierten en partículas celulósicas, ó *dermatosomas*, originando por su reunión la membrana celular. Estos dermatosomas son homólogos de las *micelas* (partículas constitutivas de las substancias orgánicas y organizadas), según veremos en la teoría micelar de Nægeli.

La primera manifestación de la futura membrana celulósica ofrece el aspecto de una lámina hialina de naturaleza albuminoidea, sembrada de granulaciones, ó *plasomas*, que tienen algunas reacciones del protoplasma citoplásmico y ninguna de la celulosa. Al poco tiempo se transforman dichas granulaciones en elementos celulósicos, denominados *dermatosomas*, y aparece continua de este modo la membrana celular con las propiedades físicas y químicas propias á la substancia celulósica.

Este mismo génesis tiene la membrana celular que envuelve al huevo originado por conjugación, así como los tabiques celulósicos que se operan en las biparticiones celulares.

**Forma.**—Las células, por la forma de su cubierta, se dividen en *isométricas* y *dimétricas*, según que las dimensiones sean iguales ó casi iguales en todas direcciones, ó que, prolongándose en una dirección determinada, adquieran dos medidas bien marcadas. Las primeras se designan con el nombre de células cortas, así como las segundas con el de células largas.

Las células cortas, ó *isométricas*, pueden estar libres ó asociadas.

En el primer caso, presentan la forma *esférica* (*Protococcus*, esporas, muchos granos de polen) ú *ovoidea* (levadura de cerveza).

En el segundo, y en su origen primitivo ó meristémico, todas las células asociadas afectan la forma poliédrica; y como este contorno pueden modificarlo obedeciendo á la resultante de las fuerzas que actúan sobre cada una de ellas, surgirán, como es natural, formas muy diversas en las membranas celulares, en razón á las presiones que mutuamente ejerzan unas sobre otras.

Así, por ejemplo, cuando las células aumentan de volumen sin sufrir presiones en contacto con sus contiguas, adquieran

formas más ó menos *redondeadas* (tallo carnoso del *Ripsalis salicornioides*, peciolo de la *Colocasia antiquorum*) (fig. 7), quedando, como consecuencia de esta asociación, que recibe el nombre de *merenquima*, y de ser tangenciales los contactos, unos espacios triangulares entre ellas que en la ciencia botánica reciben el nombre de *meatus*.

Pero si las células en su constante aumento ejercen presiones desiguales unas con otras, el crecimiento forzosa-mente será mayor en aquellos puntos en que la presión es menor, dando origen por su reunión á los *parénquimas*, y en los cuales las formas de sus células pueden ser ó no *ramificadas*. Entre las *no ramificadas* distinguiremos las formas *poliédricas* de facies *exagonal* (tallo del ajo (figura 8), medula de saúco); *rectangular alargada*, ó muriforme (radios medulares de la *Aristolochia Sipho*) (fig. 9); *rectangular ensanchada*, ó tabular (células epidérmicas del helecho macho) (fig. 10). Y entre las *ramificadas*, las células *sinuosas* (fig. 11), cuyas prominencias encajan en los senos de las otras, sin que exista meatu alguno (epidermis del *Sedum Telephium*, granza); las *ramosas*, con prominencias cortas que se tocan con las de las células vecinas, y con meatus más grandes, llamados lagunas (parénquima ramoso ó lagunoso de las hojas en su parte inferior) (fig. 12); y *estrelladas* (fig. 13), ó células con salientes ó ramificaciones

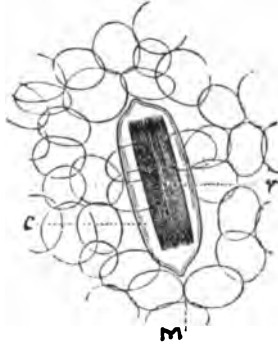


Fig. 7.—Corte transversal del peciolo de la *Colocasia antiquorum*. —c, células redondeadas; m, meatus.

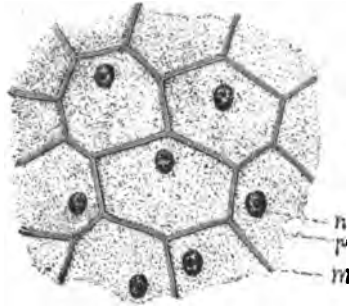


Fig. 8.—Sección transversal en el tallo del ajo común. —m, membranas con forma poliédrica exagonal.

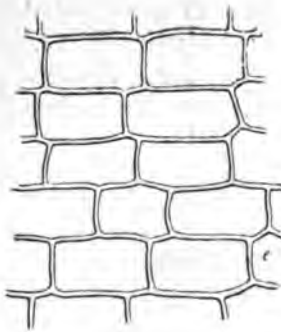


Fig. 9.—Células rectangulares alargadas de los radios medulares de la *Aristolochia Sipho*.

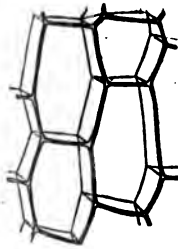


Fig. 10.—Células ensanchadas ó aplastadas de la epidermis del *Polystichum Filix-mas*.

largas, que en su contacto con las de las vecinas dejan unos espacios ó lagunas mucho mayores (tallo del *Juncus effusus* y peciolo de *Pontederia crasipes*).

Las células largas, ó di-

métricas, son aquéllas que crecen en una sola dirección y pueden estar lo mismo que las isométricas libres ó asociadas. Las células dimétricas libres toman la forma bacilar ó cilíndrica (*Bacillus Amylobacter*); y las asociadas por efecto de presiones laterales de las células contiguas, adquieren la forma de

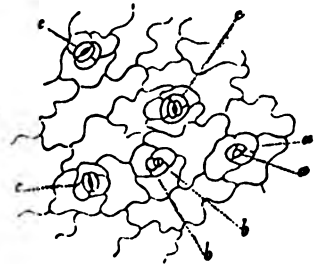


Fig. 11.—Células sinuosas de la epidermis del *Sedum Telepbium*.

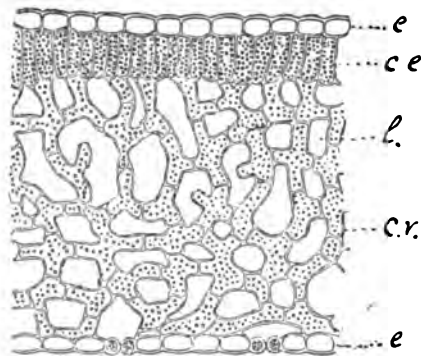


Fig. 12.—Sección transversal de la hoja de la *Franciscea eximia*.—*e*, epidermis; *ce*, células en empalizada; *l*, lagunas; *cr*, células ramosas.

un huso (fig. 14) que recibe el nombre de *fibra*. Este elemento histológico, al parecer distinto, y que más detenidamente estudiaremos en histología, es sencillamente una derivación morfológica celular que pudiera definirse diciendo: «célula alargada y

terminada en puntas, casi siempre sin protoplasma y con paredes gruesas y más ó menos resistentes.»

En idéntico caso nos encontramos con los *vasos*: éstos son tubos formados por células cilíndricas ó prismáticas, dispuestas en serie lineal ó superpuestas, cuyos tabiques de separación han sido reabsorbidos, quedando franca la comunicación de unas células con otras, formando un todo continuo (fig. 15).

No es difícil comprender que del paso incesante de los jugos nutricios al través de los tabiques de separación de las células como puntos de mayor roce, se reabsorban ó disuel-

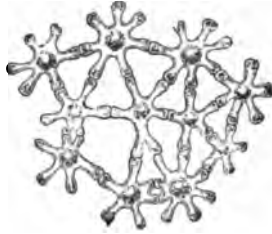


Fig. 13. — Células estrelladas tallo del *Juncus effusus*).

van éstos para facilitar el camino de aquéllos; de lo cual resulta que el *vaso*, del mismo modo que la *fibra*, no es un elemento anatómico diverso de la célula. Luego, aun



Fig. 14. — Célula fusiforme con puntuaciones (clostro de la *Bragantia tomentosa*).

cuando en cualquiera período de la vida de todo órgano vegetal y cortado en la dirección que convenga para su estudio micrográfico, aparezca la sección con células, ó con células, fibras y vasos, no por eso se dirá que estos elementos histológicos, fibra y vaso, son extraños, sino verdaderas transformaciones morfológicas de las células, aun cuando las funciones que desempeñen sean distintas.

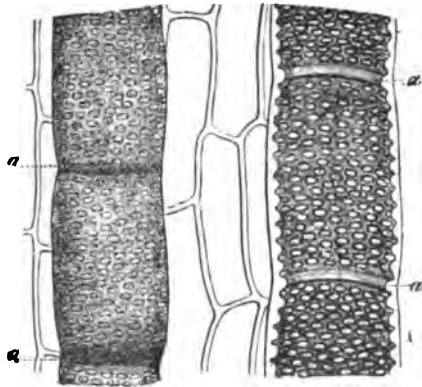


Fig. 15. — Vasos punteados de *Aristolochia Sipho*, uno entero y otro cortado. — a, estrangulaciones debidas á la reunión de las células primitivas.

**Crecimiento de la membrana.**—La membrana celular, una vez constituida, crece en *superficie* y en *espesor*.

*α. En superficie.*—Para comprender de un modo satisfactorio el crecimiento en superficie, es necesario explicar, aun adelantando ideas, un principio fisiológico que lleva el nombre de *turgescencia* celular.

A causa del gran poder osmótico del contenido celular, los jugos de fuera son absorbidos enérgicamente, pasando á través de la permeable membrana envolvente y de la capa hialina periférica del protoplasma ó dermatoplasma; y de esta acumulación interna de agua con los principios asimilables, resulta un aumento de volumen en la masa protoplásmica, que se traduce en una presión cada vez mayor del protoplasma al dermatoplasma, y de ésta, por consecuencia, á la membrana celular. Dicha presión centrífuga y radial del contenido celular, ó *tensión positiva*, está equilibrada con la reacción elástica antagonica y tangencial operada en la membrana, ó *tensión negativa*, y á la resultante de estas dos fuerzas, ó al estado particular de tensión que manifiesta la célula en este caso, se da el nombre de *turgescencia* celular.

Ahora bien: á esta turgescencia se debe que se distienda la cubierta celular, desuniéndose sus partículas; y gracias á la multiplicación de granulaciones ó plasomas elaboradas por el dermatoplasma, y conducidas por presión hacia la membrana, se comprende que poco á poco se intercalen previamente transformadas en dermatosomas entre las antiguas partículas desunidas; y de aquí que con las nuevas moléculas celulósicas incorporadas en la membrana, se consiga, no sólo aumentar la superficie de la misma, sino también que el contenido protoplásmico tenga cabida en el continente celular. Continuando de este modo la vida de la célula, seguirá su membrana resistiendo y equilibrando con nuevas formaciones celulósicas las presiones que emanan del interior, hasta que disminuyendo su permeabilidad por ulteriores transformaciones, quede interceptado el paso de los líquidos á su través y como definitiva la forma adquirida.

*αα. En espesor.*—El crecimiento en espesor se opera de un modo análogo al indicado anteriormente, con la diferencia de que allí los dermatosomas se colocaban en sentido tangencial para rellenar por interposición los intersticios de la membra-

na, y aquí se disponen en sentido radial, íntimamente ligados con los plasomas activos restantes, para producir á la larga esa diferenciación que se observa en toda sección transversal estudiada al microscopio de tintas claras y oscuras, efecto de la desigual hidratación en las partículas celulósicas, y el grosor correspondiente que proporciona á la célula una protección más eficaz en sus relaciones con las demás.

Este aumento en espesor raras veces es uniforme; antes, por el contrario, la membrana engruesa en puntos que está en contacto con el protoplasma, permaneciendo delgada en aquellos otros que está libre de dicha substancia, de donde resulta que examinadas las células al microscopio ofrecen dibujos y aspectos variados debidos al contraste que manifiestan las regiones delgadas con las gruesas.

**Modos de espesamiento.**—El crecimiento en espesor de la membrana es *centrípeto* si tiene lugar hacia el interior, estrechando la cavidad de la célula; *centrífugo* si se realiza en la superficie externa sin variar la capacidad celular primitiva, y *mixto* cuando se opera simultáneamente en ambos sentidos.

**Espesamiento centripeto.**—Puede ser de un modo *igual* ó *desigual*.

Decimos que es *igual*, siempre que el proceso en espesor por aposición de partículas celulósicas nuevas sobre las antiguas, es el mismo en todos los puntos de su superficie interna. La membrana celular en este caso aparece lisa en sus dos contornos externo é interno, así como constituida en toda su masa de capas concéntricas claras y oscuras, que más adelante tendrán su explicación. De este espesamiento, bastante raro en los vegetales por su uniformidad, pueden citarse como ejemplos clásicos las fibras liberianas del *Dioon edule* (fig. 16) y ramio; las células de uno de los tipos del tejido colenquimatoso (porción periférica del tallo del *Solanum dulcamara*, etcétera), y las células endodérmicas de las raíces (*Dendrobium*, *Epidendrum*, *Primula*, *Auricula*, etc.) (1).

Es, por el contrario, *desigual* en aquellos casos en que la

(1) Frecuentemente las células endodérmicas de las raíces insertas en los rizomas, se espesan mucho más sobre las caras interna y laterales de las secciones transversales en forma de herradura (*Iris*, *Zarzaparrilla*, *Vainilla*, etc.)

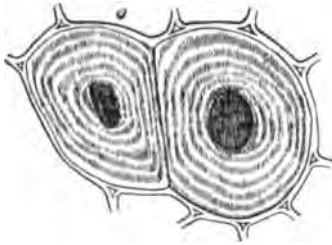


Fig. 16. — Sección transversal de dos fibras del *Dioon edule*: la membrana se halla espesada uniformemente y está compuesta de capas concéntricas claras y oscuras.

secuencia de un activo espesamiento en determinados puntos de la membrana celular, en su mayor parte delgada.

Como ejemplos de estos relieves locales, podemos señalar los



Fig. 17.—Esculturas en relieve formando una espiral en los pelos de la *Marchantia polymorpha*.

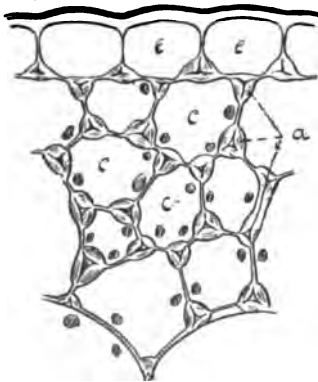


Fig. 18.—Células con espesamientos en los ángulos del peciolo de la *Begonia*. —e, epidermis; c, células colenquimatosas; a, espesamientos.

periferia protoplásmica no se halla totalmente en contacto con la membrana.

De dos modos distintos puede realizarse este espesamiento desigual, dando origen a las *esculturas en relieve* y en *hueco*.

*Esculturas en relieve*.—Se llaman así todas las prominencias internas que, simulando adornos ó dibujos más ó menos caprichosos, son con-

*cistolitos*, masas piriformes ó mazudas que se hallan en algunas células epidérmicas del *Ficus elastica* y de otras Urticáceas y Moreas; las prolongaciones ó filamentos nudosos que adornan interiormente las células de los pelos radicales de la *Marchantia polymorpha* (fig. 17); el espesor que en los ángulos de ciertas células poliédricas observamos en uno de los tipos del tejido colenquimatoso (peciolo de las begonias) (fig. 18); la diversidad de dibujos que ostentan las célu-



las supraendodérmicas de algunas crucíferas (fig. 19), así como los característicos adornos de suberización plegada ó denticulada en la línea ecuatorial de las células del endodermo de todas las raíces en general.

A veces el contorno en relieve consiste en una banda espiral que recorre la cara interna de la membrana celular (*células espirales* del ricino), ó en anillos paralelos (*células*

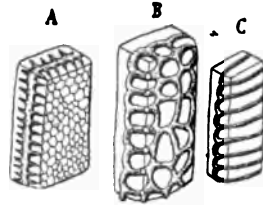


Fig. 19.—Variados espesamientos en las células supraendodérmicas de la raíz.—A, en la mostaza; B, en el alelí; C, en el mastuerzo.



Fig. 20.—Células anilladas (vaso del maíz).

las anilladas del maíz) (fig. 20); ora en bandas dispuestas sin simetría (*células rayadas* de la cala-

baza); ó colocadas simétricamente como los tramos de una escalera (*células escalariiformes* de los helechos) (fig. 21); bien,



Fig. 21.—Célula escalariiforme del *Pteris quilnsa*, aislada por maceración y cortada por la mitad.



Fig. 22.—Células reticulares del albumen de la *Aristolochia clematitis*.

finalmente, en forma de red ó en bandas anastomosadas y cruzadas, *células reticulares* del albumen de *Aristolochia clematitis* (fig. 22) (1).

*Esculturas en hueco*.—Si, en contra de lo expresado anteriormente, suponemos que las células vegetales, en sus respectivos procesos de espesamiento, cambian desde un principio sus papeles fisiológicos,

(1) Más adelante diremos que los *vasos* pueden presentar estos mismos dibujos, desde el momento en que dichos elementos histológicos son células dispuestas en serie lineal ó axial, cuyos tabiques transversales se han reabsorbido.

de modo que las porciones que antes eran espesas resultan ahora delgadas, y las que tenían este carácter se convierten en gruesas, obtendremos, sin duda alguna, los mismos dibujos de células espirales, anilladas, rayadas y reticulares, con la diferencia de que los relieves de entonces son los huecos de ahora.

El modo de conocer al microscopio si las células vegetales ostentan esculturas en relieve ó en hueco, es sencillo fijándonos en el efecto de luz que manifiestan los respectivos dibujos. En general, las células punteadas que describiremos en seguida, así como las rayadas y reticulares, son ornamentos en hueco, porque aparecen brillantes sobre el fondo más oscuro de la membrana; mientras que los anillos y espiras son adornos en relieve por dibujarse sombreados en el fondo claro de dicha membrana.

De todas las esculturas en hueco, las más frecuentes y hasta las más esenciales para la vida de la planta son las *puntuaciones ó poros*.

**Puntuaciones.** —Son llamadas así las perforaciones que atraviesan la membrana celular.

Estos poros generalmente se corresponden de unas células á las contiguas, estableciéndose de este modo la comunicación entre las mismas, tan sólo interrumpida en la primera edad por el doble tabique péctico celulósico de las membranas intercelulares no espesadas en este punto de contacto. Merced á esta disposición, un doble fin realizan las células, pues, en primer lugar, por el espesamiento de la membrana se proporciona consistencia, protección y sostén á la planta, y en segundo, por la relación de las puntuaciones se opera por diosmosis á través de la membrana, y por capilaridad á lo largo de los poros, cuando aquélla desaparece, el comercio de los jugos nutritivos.

Por eso, según Hartig (1), se ven poros ó puntuaciones en todas las caras de los elementos del cuerpo leñoso que sirven para la conducción del agua, como en las fibras de las especies de hoja plana, al

(1) Roberto Hartig, *Compendio de Anatomía y Fisiología de las plantas y principalmente de los árboles forestales* (traducido del alemán por D. Joaquín María Castellarnau): Madrid, 1906.

contrario de lo que sucede en las células areoladas ó traqueidas de algunas coníferas que solamente los presentan en las caras radiales, con lo cual el flujo de agua se realiza con mayor facilidad en la dirección tangente que en la radial. Y como podría darse el caso, como consecuencia de la disposición de las traqueidas en estas coníferas, de que el *cambium* experimentase falta de agua durante la primavera, se contrarresta este inconveniente con la formación en el otoño de traqueidas que presentan poros en las caras tangenciales y le proveen de ella. Mas si ocurriera que las traqueidas no tuvieran poros en dichas caras tangenciales, el *cambium* se abastecería del agua que le proporcionan las traqueidas conductoras que se encuentran en los radios medulares.

Sin embargo, según los admirables estudios de Castellarnau sobre la madera de las coníferas, resulta que las especies españolas del género *Pinus* sólo presentan poros areolados en las caras radiales de las traqueidas, en la madera de las raíces del *P. Pinaster* se observan también en las caras tangenciales.

Del mismo modo, el *P. Strobus* tiene poros en las caras tangenciales de sus traqueidas, y aunque en menor número que en las radiales las tienen también en las tangenciales, según Castellarnau, las especies españolas de *Juniperus*, *Taxus*, *Abies Picea* y *Cupressus* y el *Larix europæa*.

Las observaciones practicadas por nosotros delante de los alumnos en el Laboratorio del Jardín Botánico, comprueban lo dicho por Castellarnau en las especies del género *Pinus* estudiadas.

Dichas puntuaciones pueden ser *aisladas* ó *agrupadas*: á las primeras corresponden las *ordinarias* y *areoladas*; á las segundas las *cribosas*.

*Puntuaciones ordinarias*.—Se caracterizan porque observadas al microscopio, se presentan limitadas por un contorno único más ó menos circular cuando se miran de frente (fig. 23), y por verdaderos canalitos que atraviesan la membrana si son vistas de perfil. Estos poros en todo el espesor de la pared celular, presentan la misma sección, y su papel conductor no es tan definido como en los poros areolados y cribosos que estudiaremos después.

Se dice además que son *sencillas* cuando están formadas por tubitos ó agujeritos que conservan á través de la membrana y en toda su longitud, la dirección, forma y dimensiones primitivas, como se observa en el albumen del *Ornithogallum umbellatum* (fig. 24).

Y *ramificadas* si el número de tubitos que abocan en la cavidad central, se dividen y subdividen en el espesor de la membrana para terminar en mayor número en la periferia de la célula, como sucede en las células pétreas de la pera y del pericarpio de la avellana (fig. 25), peciolo de la *Hoya carnosa*, etc. A veces estos poros

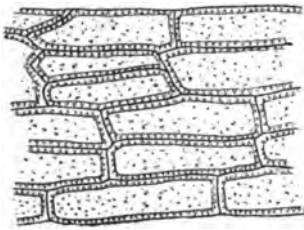


Fig. 23.—Células punteadas, vistas de frente de la *Bragantia Wallicbii*.

ramificados poseen una complicación mayor en su ramificación, como se observa en las envueltas duras de las semillas de la *Bertholletia*.

El aspecto que presentan todas estas puntuaciones vistas de frente en el microscopio, es el de puntos, y de aquí el nombre de *células punteadas*, como puede verse en la figura 23.

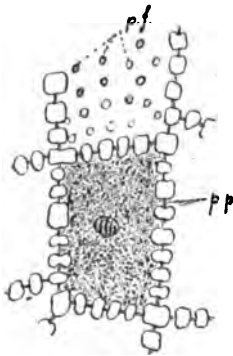


Fig. 24.—Células punteadas vistas de perfil del albumen del *Ornithogallum umbellatum*.—*p. p.*, puntuaciones de perfil; *p. f.*, puntuaciones de frente.

*Puntuaciones areoladas*.—Se denominan así, porque vistas de frente, además del espacio claro circular ó elíptico que distingue á las ordinarias, se hallan adornadas de un contorno anular más ó menos obscuro y ancho llamado *areola* ó *aureola*. Su misión especial en la planta es la conducción de jugos, como se ha dicho en la página 42.

Estas esculturas, no exclusivas de las gimnospermas, pues abundan también en las angiospermas, han sido y siguen siendo consideradas por los botánicos como accidentes en hueco, en atención á que la mayor parte de la membrana celular se espesa y sólo quedan estos puntos de

comunicación con las células adyacentes; pero bueno es manifestar que en su origen y desarrollo primitivos, tales formaciones tienen todos los caracteres de esculturas en relieve, de ser ciertas como son las observaciones hechas por Sanio estudiando en su génesis el desarrollo de las puntuaciones areola-

das en secciones transversales practicadas en tallos jóvenes del *Pinus sylvestris* (fig. 26, A).

La formación de toda escultura areolada no se puede comprender satisfactoriamente sin el concurso de las observaciones micrográficas de las tres secciones, transversal, tangencial y radial, en relación al eje y generatrices del cilindro del tallo que elijamos para el estudio. A este fin y tomando por tipo el pino antedicho, vamos á hermanar los resultados que se advierten en los tres cortes, para integrar y deducir lo que haya de cierto respecto al proceso evolutivo de tan interesantes accidentes celulares.

Las secciones *transversales* nos dan idea clara, no sólo del desarrollo gradual de estas puntuaciones según Sanio, sino también de la diversidad de formas y disposición seriada que es peculiar en las células areoladas ó traqueidas (1).

En efecto: las traqueidas presentan todas las formas intermediarias entre el polígono y el óvalo. El tipo poligonal más común es el rectángulo, pentágono, exágono, y á veces el octógono.

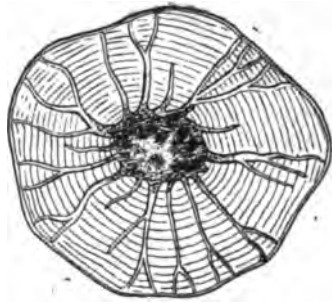
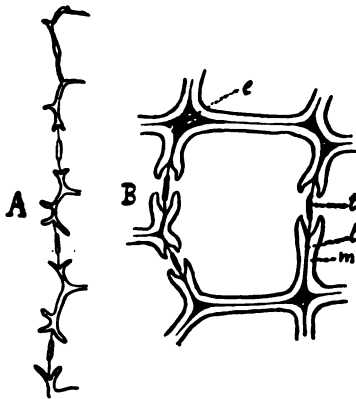


Fig. 25.—Puntuaciones ramificadas vistas de perfil en las células del pericarpio de la avellana.



Figs. 26 y 27.—A. Desarrollo de las puntuaciones areoladas del *Pinus silvestris*, según Sanio.—B. Sección transversal de una traqueida del mismo vegetal: *m*, membrana; *l*, lámina media; *e*, espesamiento de la lámina media; *t*, torus.

(1) Se les da el nombre de *traqueidas*, porque además de su función conductora, van acompañadas de un filamento ó relieve en espiral propio de las tráqueas.

En un principio las formas son rectangulares con los lados más largos en sentido tangencial si se mira á la zona de otoño, así como en la zona de primavera son cuadrados ó rectangulares, alargados en sentido radial. Con el tiempo, los ángulos diedros de estas células se redondean, y participando los polígonos de la sección de esta particularidad, tienden á la forma redondeada, en cuyo caso, no pudiendo la materia intercelular suministrar substancia bastante para rellenar los espacios que quedan entre sus ángulos, se forman *meatus*, que son de origen secundario.

También notamos en estos cortes transversos que las traqueidas están dispuestas en series radiales y con las membranas lignificadas, á juzgar por el color rojo violado que adquieren con el reactivo floroglucina y ácido clorhídrico, y el color amarillo con el sulfato de anilina.

Observemos además que las caras laterales derecha é izquierda de estas células rectangulares dispuestas en serie radial, dibujan en sección los cortes de las puntuaciones areoladas que consisten en dos pares de tenazas abiertas una enfrente de otra, simulando dos arcos ojivales, encerrando una cámara lenticular cuyos ángulos están ligados con la delicada membrana de separación intercelular que presenta en su centro un espesamiento particular, no siempre visible, de estructura fibroso-radiante, llamado *torus* (fig. 26, B).

Las secciones *tangenciales* son de un interés en cierto modo más elevado que las transversales. Dichos cortes enseñan que las células areoladas son prismas alargados terminados superior é inferiormente por membranas muy oblicuas; pero como estas membranas son los planos de comunicación longitudinal de unas células con otras, y además presentan las puntuaciones areoladas con los mismos contornos en sección que hemos descrito en los cortes transversales, resulta que esta serie de células traqueidas forman verdaderos vasos (traqueidas en serie lineal) en condiciones de conducir líquidos en sentido axial á través de los tabiques comunicantes.

Ahora bien: las líneas laterales de estos prismas en la sección tangencial practicada, corresponden, como es natural, á las líneas ó caras radiales de los rectángulos observados anteriormente en sección transversal; y como dichas caras radiales se hallan adornadas de cámaras lenticulares, las líneas laterales

de estos prismas deben también presentarlas. Este fenómeno se realiza con toda exactitud, sin más diferencia que el diseño ó contorno es algo más alargado.

Además, estas puntuaciones, tanto en los cortes transversales como tangenciales, pueden ser grandes y pequeñas, según corresponden á formaciones de primavera ó de otoño; diferenciándose únicamente en que las pequeñas tienen el canal que atraviesa la puntuación bastante más largo á consecuencia del mayor espesor que se ha operado en la membrana celular.

Finalmente, las secciones *radiales* examinadas con débil aumento, indican como las tangenciales que las células areoladas son alargadas según el eje del tallo, y tanto en las caras que corresponden á esta sección como en los planos de comunicación axial, que por ser muy oblicuos en sección tangencial, aparecen aquí casi paralelos á los cortes radiales (1), se observan las puntuaciones areoladas vistas de frente bajo la forma de dos círculos concéntricos (fig. 28, D), de los cuales el pequeño, circular ó elíptico, corresponde á la abertura de la puntuación, y, por consiguiente, deja pasar la luz fácilmente á través del hueco; mientras que el grande es dependiente de la emergencia que circunda el hueco; y como la luz que llega al observador atraviesa en esta región una parte de membrana de

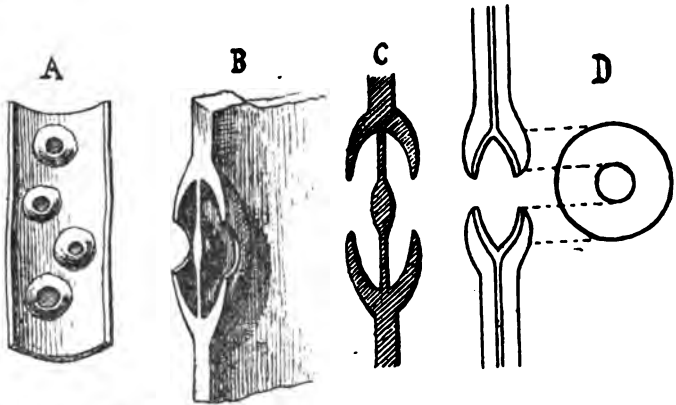
(1) Castellarnau, *Madera de las coníferas españolas: Anales de la Sociedad Española de Historia natural*, tomo XIV, pág. 167. Los poros areolados, como dice muy bien Castellarnau, se desarrollan en las caras radiales, y sobre todo en los planos de unión longitudinal de las células areoladas. Estos planos, como son muy oblicuos, aparecen en el corte radial como si fueran las caras longitudo-radiales, y por esta razón han sido confundidos con ellos por casi todos los botánicos, incluso por Sachs, cuando afirman de un modo absoluto que los poros areolados sólo se encuentran en las paredes radiales, pues de ninguna manera pueden llamarse paredes radiales aquéllas entre las cuales jamás se encuentra un radio.

En las caras radiales siempre los poros están colocados en una sola fila, y en los planos oblicuos de unión longitudinal se encuentran constantemente dos en los géneros *Abies* y *Picea*, y algunas veces también en el *Alerce* y los *Pinus pinaster* y *pinca*. En las demás especies sólo se ve una hilera, lo mismo que en las caras radiales; pero en este caso el número de poros es más grande; de modo que la comunicación de las células en sentido axial es mayor en sentido longitudinal que en el transversal, lo que asemeja su tejido á un vaso.

Cierta consistencia, se halla más debilitada que en la zona central.

En suma, y como consecuencia de todo lo que antecede, podemos considerar formada la puntuación areolada del modo siguiente. Supongamos una pared correspondiente á las caras de dos células contiguas jóvenes, y también que en dicha pared delicadísima ciertas *porciones circulares* se conservan en tal estado sin experimentar el proceso de espesamiento que ha de realizarse en la restante superficie de la membrana celular.

Si sirviendo de base el contorno circular de las porciones antedichas, se produce un rodete emergente de espesamiento,



Figs. 28 á 31. —A. Fragmento de un vaso del pino mostrando las puntuaciones areoladas de frente. —B. Puntuación areolada seccionada á lo largo, vista en perspectiva. —C. Puntuación areolada, sección longitudinal simple. —D. Circulos concéntricos que corresponden á la puntuación, vista de frente.

que agrandando y estrechándose progresivamente hacia el interior de la célula (fig. 28, A), sigue el general funcionamiento en espesor que en toda la membrana celular se manifiesta, terminaremos por obtener una especie de bóveda convexa (1) ó cúpula encima de la parte circunscrita, que figurando un tronco de cono no es otra cosa que un verdadero accidente en

(1) Muy semejante á los abombamientos que observamos en las paredes de nuestras casas cuando se descascarilla por la humedad ú otro accidente la porción yesosa que las cubre.



relieve que pasa insensiblemente á escultura en hueco (figura 28, B). Y como este fenómeno se realiza al mismo tiempo y de la misma manera sobre la cara opuesta de la pared en relación con la cavidad de la célula contigua, tendremos como resultado final dos troncos de cono ó abombamientos opuestos y acoplados por sus grandes bases circulares, limitando un espacio lenticular que la lámina delicadísima ó porción circular divide en dos partes iguales semilenticulares. Esta membrana limitante y divisoria tiene en su centro un espesamiento débil con estructura fibroso-radiante, llamado *torus* (fig. 28, B y C).

Esta falta de comunicación directa es una condición indispensable para que puedan las células continuar su desarrollo, pues si la hubiera serían imposibles los fenómenos osmóticos y de turgencia, y, por lo tanto, imposible también el crecimiento y modificación ulteriores de la membrana celular.

Por eso Roberto Hartig (1) considera al *torus* como una especie de válvula que sirve para regular la corriente de agua de célula á célula. Las diferencias entre la presión atmosférica y la del aire contenido en las células, desempeñan un papel importante en el proceso de la elevación del agua. Y sigue diciendo: «Si la presión interior de éstas es mayor, el agua empuja sobre la membrana divisoria y sobre el disco; éste no le deja pasar; pero el resto de la membrana, que forma una superficie anular, se distiende elásticamente, aumentando con ello su porosidad, y funciona como un filtro rápido. En las grandes presiones se correría el riesgo de que la membrana se rasgara si no estuviese protegida por el disco central más grueso. La distensión de la membrana de cerramiento puede llegar á un grado tal, que la aplique contra la bóveda de la cámara del poro yuxtapuesto, y entonces el disco se pega contra la abertura é impide su desgarró. En este caso aún es posible algunas veces que continúe el flujo de agua á través de los poros, porque la placa y las paredes de la cámara no ajustan perfectamente, sino que quedan entre ambas algunos surcos radiales por entre los cuales el agua puede pasar.

En las traqueidas de las coníferas, la membrana divisoria es por lo regular muy tenue, está poco engruesada en su centro, y comunemente se halla rebatida sobre la pared de la bóveda de una de las cámaras de los dos poros yuxtapuestos, de modo que las dos cámaras semilenticulares parecen estar en comunicación y formar una sola cámara, abierta por un lado y cerrada por el otro, á causa de hallarse

(1) Roberto Hartig, obra citada.

la membrana divisoria cerrando el canal del poro. La cámara lenticular, vista de frente, presenta su borde formado por una línea doble que representa el límite periférico de la cámara, constituido por la pared primaria, un poco engruesada en este sitio por la abundancia de cal que contiene.

Durante mucho tiempo fué creencia general que los poros areolares estaban abiertos y ponían á las células en libre comunicación entre sí, hasta que el Dr. Teodoro Hartig (1) demostró que estaban cerrados por la lámina divisoria, por

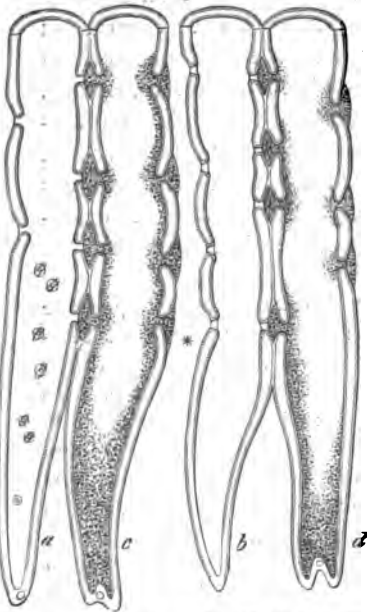


Fig. 32.—El carmín se ha introducido en las traqueidas *c* y *d*, por estar cortadas en sus extremidades, y ha penetrado en las cámaras de los poros; mas á causa de sus membranas divisorias no le es posible pasar al interior de las traqueidas *a* y *b*.—(T. H.)

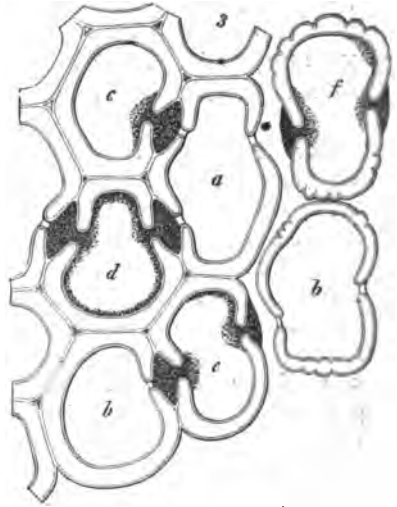


Fig. 33.—Representa lo mismo que la figura anterior, pero en sección transversal. El carmín penetra sólo en las traqueidas *c*, *d*, *e* y *f*.—(T. H.)

más que en muchos casos se halla ésta rebatida sobre uno de sus lados; pues inyectando con fuerza en las traqueidas de las coníferas agua que tuviese en suspensión finos gránulos de carmín, obtuvo el resultado que se representa en las figuras 32 y 33.

(1) Dr. Th. Hartig, *Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen*: Berlín, 1878, pág. 46.—(Nota de Castellarnau.)

Para que en las plantas pueda verificarse el flujo de las sustancias líquidas rápida y fácilmente entre las células vecinas, es preciso que el aire que contengan esté enrarecido, y con objeto de que la delicada membrana celular no sea aplastada por la presión exterior y se mantenga rígida, se forman en ella espesamientos ó refuerzos de forma espiral, anular ó reticular. En los vasos anulares sucede casi siempre que la mayor parte de la pared permanece sumamente delgada, y los anillos ó espiras la mantienen tirante, de un modo parecido al que las varillas de un paraguas mantienen tirante la tela de que se compone. Tales espesamientos de las paredes se encuentran casi exclusivamente en aquellos elementos que están en contacto por grandes superficies con el tejido parenquimatoso, del cual absorben con gran facilidad el agua ó al cual la entregan, como sucede en los órganos conductivos de la extremidad de las raíces que se hallan en inmediato contacto con el parénquima radial, y en las últimas ramificaciones de las hojas y del vértice vegetativo. No se desarrollan esos espesamientos en la madera secundaria, y en las formaciones axiales solamente se encuentran junto al estuche medular, aunque ya no sirven en estado adulto para la conducción del agua, lo mismo que las partes viejas en la madera.»

En la vejez y muerte celular que puede sobrevenir á consecuencia del gran espesor de la membrana, las células pierden sus protoplasmas, y relleniéndose de aire y de agua, la lámina divisoria se destruye (fig. 28, D). En este caso, el espacio lenticular forma una cavidad que, encerrada entre los abombados espesamientos, comunica á derecha é izquierda por una abertura circular ó elíptica con las cavidades de las células vecinas.

En general, el centro del poro areolado en las secciones radiales, es circular; otras veces presenta un contorno elíptico (*Taxus*); á veces la forma de hendidura: en este caso los dos, que diametralmente opuestos corresponden á cada puntuación, se hallan orientados paralelamente ó se cruzan (*Cycas revoluta*); y, por último, la hendidura puede ser tan larga que se presente atravesando al contorno circular externo (*Taxodium*).

La existencia y constitución de estos poros dan á las paredes celulares de los vasos en que se hallan una solidez mayor que la correspondiente á las puntuaciones ordinarias, y he aquí la razón de que en las plantas donde abundan (*Gimnospermas*) no se encuentran fibras en la madera como elementos de sostén por innecesarias.

Recordemos también que como tipo clásico de observación

para el estudio de estos poros se ha elegido el Pino, en atención á que en el tallo secundario de las abietíneas, las células que constituyen los vasos areolares miden muy cerca de cuatro milímetros de longitud.

*Puntuaciones cribosas.*— Son grupitos de poros ó puntuaciones ordinarias anidados en cada una de las membranas de los tabiques medianeros que ponen en comunicación las cavidades de los vasos cribosos.

Un vaso criboso está formado por una pila de células cilíndricas ó prismáticas, cuyos tabiques de separación se han transformado en cribas. En general, dichos vasos están ordinariamente aislados; pero puede suceder que comuniquen unos con otros por medio de anastomosis transversas: sirva de ejemplo la *Datura Stramonium*.

La primera diferenciación de los tubos cribosos es producida por la formación de células con paredes laterales nacaradas más espesas y más refringentes que las paredes de las células vecinas.

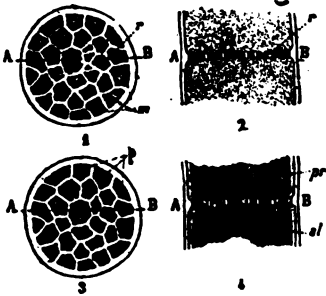
Léger (1) ha demostrado la importancia característica de esta diferenciación nacarada, que toma una coloración azul por la acción del cloruro de calcio yodado. Chauveaud (2) hace constar, además, que dicha face nacarada corresponde al período activo del vaso criboso, funcionando como tubo conductor, es decir, al momento en el cual se hallan abiertos los poros de la criba y permiten el paso de las sustancias albuminoideas de una célula á otra. En efecto: el aspecto nacarado de las paredes laterales desaparece á medida que el tubo criboso es más viejo, y su funcionamiento como elemento conductor disminuye hasta anularse, por razones que luego serán examinadas.

**α. Formación de la criba.**—Al mismo tiempo que la diferenciación nacarada empieza á producirse en las paredes laterales del vaso criboso, la pared transversal sufre una transformación singularísima. Dicha pared está casi exclusivamente formada de materia albuminoidea más ó menos impregnada de pectosa; mas al poco tiempo, y en ambas caras de la misma, se deposi-

(1) Jules Léger, *Recherches sur l'appareil végétatif des Papavéracés* (Mémoires de la Société linnéenne de Normandie, tomo XVIII, 1895).

(2) G. Chauveaud, *Sur le développement des tubes criblés chez les Angiospermes* (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, tomo XX, 1865).

tan partículas celulósicas siguiendo líneas que dibujan una red poligonal, siempre de modo que la red de una cara se corresponda simétricamente con la de la opuesta. Según esto, toda criba comienza por una especie de red celulósica nacarada (fig. 34, *r*) que se destaca sobre las dos caras del tabique, y cuyas mallas *m* (fig. 34, *m*) están ocupadas por la membrana



Figs. 34 á 37.—Desarrollo de una criba (*Cucurbita maxima*).—1, sección transversa: *r*, red celulósica; *m*, mallas rellenas de substancia albuminoidea.—2, sección longitudinal del vaso criboso atravesando la criba anterior por AB: *r*, fragmentos de la red seccionados.—3, sección transversa de una criba de más avanzada edad que la 1: *p*, perforaciones.—4, sección longitudinal de la anterior siguiendo la dirección AB: *pr*, protoplasma parietal; *al*, substancia albuminoidea atravesando las perforaciones.

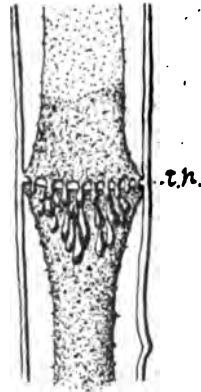


Fig. 38.—Sección longitudinal de un vaso criboso (*Cucurbita maxima*).—*tn*, tabique transverso normal al eje del vaso, en el cual la substancia albuminoidea atraviesa las perforaciones de la criba de arriba abajo formando numerosas gotas.

primitiva de naturaleza albuminoidea y pectósica. Momentos después, todas las mallas se hinchan por gelatinización de la substancia albuminoidea pectósica, y reabsorbiéndose por completo sus centros respectivos (fig. 34, 3 *p*), se producen tantos agujeros como mallas según Van Tieghem (1), si bien hay autores, como Belzung (2), que manifiestan para cada malla una serie de finísimos canalillos perforantes.

Así perforadas estas paredes, reciben el nombre de *cribas*; y gracias á esta estructura cribosa, se facilita el tráfico de las

(1) Van Tieghem, *Elements de Botanique*: Paris, 1898, pág. 37.

(2) Belzung, *Anatomie et physiologie vegetales*: Paris, 1900, pág. 204.

substancias albuminoideas y nutritivas elaboradas en las partes verdes de los distintos puntos del vegetal (fig. 38), cuyo hecho acredita el fundamento por el cual los vasos cribosos son considerados como los elementos principalísimos de conducción de la savia descendente ó elaborada.

Mas no en todos los vegetales concluye el proceso de formación del modo antedicho, pues hay plantas, como las Gimnospermas, en las cuales los tabiques medianeros de los vasos conductores, denominados también cribosos, siguen completos y continuos, y, por tanto, sin perforación alguna. A lo sumo, en los tabiques de algunos de ellos (*Pinus silvestris*) (1) se manifiestan delicadísimas puntuaciones ó poros simples que se corresponden con los de la cara opuesta por la lámina media que las separa; y como en este caso no hay libre comunicación entre las células constitutivas y superpuestas del vaso, la circulación de los líquidos se efectúa necesariamente con mayor dificultad que en los angiospermas, pues claro es que operándose sólo por ósmosis, aun cuando los líquidos sean como son menos espesos en los gimnospermas, la circulación ha de ser naturalmente más pausada que el simple trasiego por los poros capilares de una criba.

Janczewski (2) y Russow (3) han demostrado que las placas cribosas de las gimnospermas están provistas de finas puntuaciones rellenas de filamentos protoplásmicos que son denominados filamentos *callosos*.

Cada uno de estos filamentos se transforma con el tiempo en diminutos bastoncitos de naturaleza callosa, cuyas extremidades libres, que corresponden á las cavidades celulares contiguas, se hinchan, formando pequeños abultamientos que soldándose unos con otros en cada una de las caras, dan por resultado el *callus* de cada lado de la placa cribosa.

(1) Strasburger, *Manuel technique d'anatomie vegetale*: Paris, 1886, página 131.

(2) De Janczewski, *Etudes comparées sur les tubes cribreux. Mem. Soc. Sc. nat. de Cherbourg*, tomo XXIII, 1882, y *Ann. Sc. Nat.*, 6.<sup>a</sup> s., tomo XIV, 1882; Extrait très esendu, pág. 50.

(3) Russow, *Sur la structure et le développement des tubes cribreux. Sitz. ber. Dorp. Naturf. Ges.*, 1882. Traduction in *Ann. Sc. Nat.*, 6.<sup>a</sup> s., tomo XIV, 1882, pág. 167.

Según Strasburger, y sobre todo Hill (1), dichas puntuaciones son realmente agujerillos ó poros que atraviesan la membrana, y contienen un filamento plásmico, es decir, son, en una palabra, plasmodesmos que persisten durante el período de vida activa del vaso criboso.

A través de estos plasmodesmos penetran los fermentos encargados de producir el *callus* en el momento en que se ponen en contacto con la membrana. Dichas membranas, constituidas por una lámina media pecto-celulósica, comienzan á transformarse, y las capas se hinchan considerablemente, originando la almohadilla callosa que cubre cada una de las caras de la placa cribosa, mientras los plasmodesmos conductores del fermento continúan sus relaciones con las cavidades del vaso criboso.

El funcionamiento de los vasos cribosos cesa después de terminada la total formación callosa; y llegado este caso, tanto el *callus* como los *plasmodesmos* se gelatinizan y reabsorben, y el vaso criboso presenta entonces en cada placa cribosa una especie de celosía repleta de mallas completamente perforadas.

**22. Disposición de los tabiques cribosos y repartición de las cribas contenidas.**—Los tabiques cribosos están dispuestos *transversal* ó *longitudinalmente*, según que respectivamente corten ó sean paralelos al eje del tubo criboso donde se encuentran.

Los tabiques *transversos* pueden ser á su vez *normales* ú *oblicuos*. En el primer caso, son próximamente perpendiculares al eje; en el segundo, inclinados á dicha línea ideal. Esta inclinación puede ser tal, que la longitud de la superficie del tabique alcance á veinte veces el diámetro del tubo criboso.

En general, en los tabiques transversos normales sólo se observa una criba (calabaza) (fig. 39); en cambio, en los oblicuos el número de cribas está en relación con la superficie del tabi-

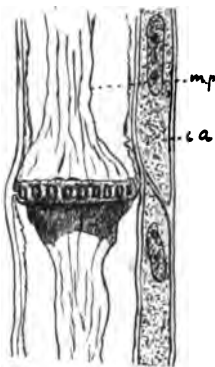


Fig. 39.—Tabique criboso normal (*Cucurbita Pepo*).—*m p*, materia protoplásmica; *c a*, células anejas.

(1) A. W. Hill, *The histology of sieve Tubes of Pinus*. *Ann. of Botany*, págs. 15-575.

— *The histology of the cell wall. The distribution and character of connecting threads in the Tissues of Pinus sylvestris and other allied species*. *Proc. R. S. LXVII*, págs. 437-439.

que. Así, por ejemplo, hay tabiques oblicuos que presentan de ocho á diez cribas colocadas paralelamente como los tramos de una escalera (vid) (figs. 40 y 41), y ascienden á un centenar en la *Cyatea medullaris*.

No se crea, sin embargo, que ambas disposiciones se excluyen, pues el grado de oblicuidad es bastante variable en un solo haz de tubos cribosos para que puedan hallarse reunidos tabiques normales y oblicuos en una misma preparación histológica (vid, tilo, roble).

Los tabiques *longitudinales* ó *laterales* se encuentran en las

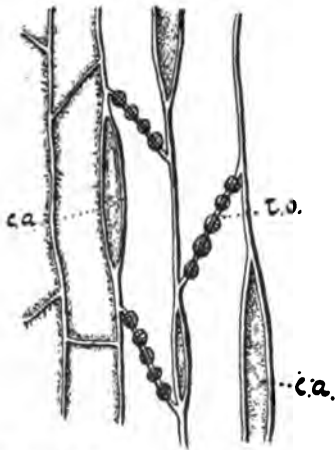


Fig. 40.—Tabique criboso oblicuo de la vid.—*t.o.*, tabique con cinco cribas cubiertas de *callus* cada una; *c.a.*, células anejas.



Fig. 41.—Tabique criboso oblicuo de la vid, visto de frente con ocho cribas.

paredes de los vasos cribosos (fig. 42). En ellos el número de cribas varía extraordinariamente, y sirven para poner en comunicación, ora los vasos cribosos entre sí, bien estos elementos con las *células anejas*, ó también con una célula cualquiera del parénquima general (1).

**Células anejas.**—Estas células están siempre acopladas á los vasos cribosos y comunican con ellos por tabiques cribosos longitudinales.

Su formación es del modo siguiente: la célula joven meristemática

(1) Bonnier et Lecler du Sablon, *Cours de botanique*, tomo I, pág. 113.



que más tarde se transforma en célula cribosa, comienza por ensancharse; después, por un tabique oblicuo que trunca una de sus aristas, origina en una de sus extremidades una pequeña célula fusiforme. Semejante truncadura se repite varias veces y á diferentes alturas durante la diferenciación, y la célula cribosa, ó mejor dicho, el vaso criboso, se halla así acompañado de un variable número de pequeñas células accesorias estrechamente adheridas á él que reciben el nombre de *células anejas* del tejido criboso.

Estas células, unas veces permanecen enteras (vid) (fig. 40 c a); pero otras veces se tabican transversalmente y constituyen una serie lineal de células acopladas en toda la longitud del vaso criboso (calabaza) (fig. 39 c a).

Se distinguen estas células de las del parénquima general: 1.º, por tener un contenido protoplásmico mucho más rico en substancias albuminoideas; 2.º, se colorean más fácilmente por el azul de anilina; 3.º, no encierran jamás almidón; y 4.º, siempre comunican con las células cribosas por un tabique longitudinal.

La red saliente de la criba es de naturaleza celulósica sólo en su parte media, pues el cloruro de zinc yodado tiñe exclusivamente á ésta; en cambio el resto de la red, así como la membrana que rellena las mallas, incluso el contorno de los agujeros de la misma, están recubiertos por una substancia de naturaleza péctica que recibe el nombre de *callosa*, pues entre los muchos caracteres que la distinguen de la celulosa, se halla el de fijar fuertemente el azul de anilina, cuyo colorante no retiene aquélla.

Al terminar el otoño, esta substancia callosa adquiere una tumefacción y espesamiento considerable, é hinchándose desde los bordes de la malla hacia el centro de la misma, los canalillos ó perforaciones se hacen más largos y estrechos, dificultando con ello el tráfico de los jugos albuminoideos, hasta que obliterándose los agujeros por completo, queda suprimida la función conductora, y entra el vaso criboso en el período pasivo á consecuencia de haberse formado dos casquetes abultados en am-



Fig. 42.—Corte longitudinal de un tubo criboso (*Cucurbita melanosperma*). —t l, tabiques laterales; t n, tabique normal, todos ellos con *callus*.

bos lados de la criba, de naturaleza callosa, que han recibido el nombre de *callus* (viña, arce). En la primavera si-

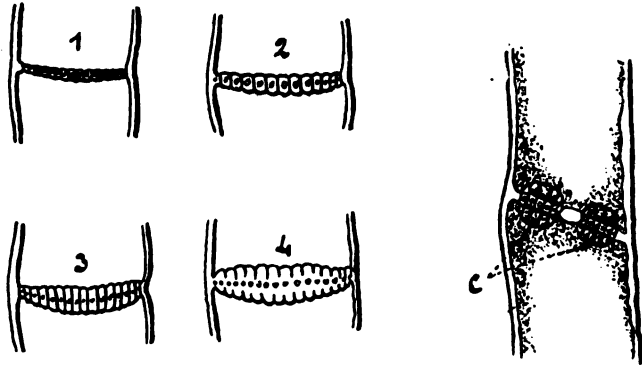


Fig. 43.—Desarrollo del *callus* en el *Rubus idaeus*.—1, 2, 3 y 4, estados sucesivos de formación callosa; el *callus* en la figura 4, por su mucho desarrollo, obtura completamente la criba.

Fig. 44.—Tubo criboso del *Vitis cebennensis*, con dos cribas y sus *callus* muy desarrollados.

guiente, el revestimiento callosa de los tabiques cribosos se redisuelve parcialmente y los poros vuelven á abrirse de nuevo; mas al segundo año es tal el espesamiento formado, que imposibilita se opere en lo sucesivo la conducción de los jugos de la savia descendente ó elaborada (figs. 43, 44 y 45).

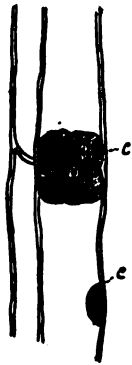


Fig. 45.—Tubo criboso de la *Cucurbita Pepo*.—*c*, *callus* de un tabique normal y otro *callus* pequeño de un tabique lateral.

Los tubos cribosos en sus primeros albores encierran, como toda célula en su juventud, núcleos y protoplasmas; pero una vez diferenciado el vaso criboso, el núcleo desaparece y el protoplasma se aloja en las paredes de las células, ó sea á lo largo de las paredes del vaso (fig. 35, 4 *p r*) y (fig. 46, *p r*), quedando sólo en la porción central un líquido granuloso bastante espeso y de reacción alcalina (fig. 35, 4 *a l*) y (fig. 46, *a l*) que en la proximidad de los tabiques cribosos se condensa en dos porciones gelatinosas que se comunican á través de las perforaciones de la criba.

Si tratamos sucesivamente una criba por el cloroyoduro de zinc y por el ácido rosólico amoniacal, los filetes albuminoides se colorean en *amarillo*, la parte central celulósica de las bandas reticulares en *azul*, y la porción superficial de estas bandas constituidas por callosa en *rosa*.

La potasa disuelve esta callosa, y deja al descubierto la red celulósica; en cambio, el líquido cúprico amoniacal disuelve la celulosa y aísla perfectamente el revestimiento caloso.

El tratamiento de un corte longitudinal en un fragmento endurecido por el alcohol y por el ácido sulfúrico, es muy instructivo, puesto que las membranas de los tubos cribosos, así como las placas cribosas, se disuelven, y no queda del vaso más que el cordón mucilaginoso. Así pueden obtenerse preparaciones de tubos cribosos adultos análogos á la que representa la figura 46.

Estas clásicas preparaciones demuestran evidentemente la comunicación directa de los vasos cribosos contiguos. En ellas se ve cómo los filamentos plásmicos ligan á través de las perforaciones de unas células con otras la substancia albuminóidea, encerrada todavía por el protoplasma parietal.

Se pueden lavar estas preparaciones añadiendo agua por un borde del cubreobjeto, y aspirando con papel absorbente por el otro; y si se quiere colorear el mucílago, agregar una gota de azul de anilina.

**Espesamiento centrífugo.**—Este crecimiento en espesor sólo puede realizarse ó en toda la cubierta membranosa de las células libres (esporas, granos de polen, etc.), ó en las porciones membranosas externas de las células confederadas, como en la pared libre de las células epidérmicas.

Dicho espesamiento centrífugo, del mismo modo que el centrípeto, puede ser *igual ó desigual*.

Es explicado por algunos botánicos el espesamiento centrí-

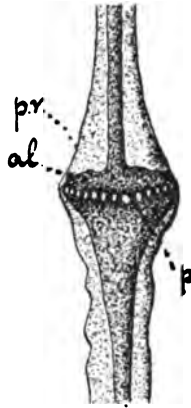


Fig. 46.—Contenido de un tubo criboso (*Cucurbita Pepo*) tratado por el ácido sulfúrico: se distinguen el protoplasma parietal *pr* con tinte gris claro, y la substancia albuminóidea *al* con tinte gris obscuro que atraviesa las perforaciones *p*.

fugo *igual*, como consecuencia de una aposición de partículas celulósicas sobre la superficie externa de la membrana; aposición que para tener lugar exige indubitablemente que sea permeable la membrana celulósica, como lo fué para el crecimiento superficial. En este caso, el incesante paso de partículas dermatosomas á través de la membrana hace que al salir al exterior y depositarse sobre la superficie extrema, no sólo pierdan agua por evaporación y se condensen, sino también se desoxiden, y esto explica el por qué se cutiniza toda la membrana de formación centrífuga, formando una cubierta protectora que defiende á la membrana celulósica interior (granos de polen, esporas, etc.)

El crecimiento centrífugo *desigual* tiene el mismo origen hipotético que el crecimiento centrífugo *igual*, con la diferen-



Fig. 47.—Grano de polen del *Cicborium intybus*: crestas denticuladas dispuestas reticularmente.

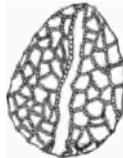


Fig. 48.—Grano de polen de la *Funkia ovata*: espesamientos en melonados y reticulados.



Fig. 49.—Grano de polen del *Plumbago zeylanica*, con tres pliegues; dos se ven de frente.

cia de que la aposición, siendo parcial, da lugar á *esculturas en relieve y en hueco*.

Como ejemplos de *esculturas en relieve*, pueden citarse los *tubérculos*, *espinas* (fig. 50, a) y (fig. 47), *crestas* (fig. 47), *redes* (fig. 48), *anillos*, etc., que se forman en la superficie externa de los granos de polen y esporas, y además los contornos ó relieves que emergen hacia el exterior en la superficie de las capas celulares libres de contacto (epidermis de las semillas, etc.)

Las *esculturas en hueco* resultan de faltas locales en el espesamiento centrífugo, dando origen á los *poros* y *pliegues ger-*

*mnativos* (fig. 40), observados en la membrana externa de las mismas células libres (polen, esporas). Estos poros y estos pliegues facilitan en los granos de polen la salida de los tubos polínicos, como proceso preparatorio para la fecundación, así como en los diodos ó esporas de las criptógamas son los puntos accesibles para que emerja el contenido celular y origine los micelios (hongos), protonemas (musgos) y protalos (criptógamas vasculares).

Otros botánicos como Schutt (1), suponen que la formación de las bandas, espinas y alas que adornan exteriormente las membranas de dichas células, son debidas al aposamiento de las granulaciones transformadas en dermatosomas contenidas en la capa protoplásmica que envuelve la superficie externa de las células libres, la cual procede y está en íntima comunicación con el protoplasma interno por intermedio de los numerosos poros que, como las mallas de una criba, atraviesan la membrana.

Las observaciones de este histólogo han sido realizadas sobre algunas *Peridíneas* (*Ceratium* y *Podolampas*), *Diatomáceas* (*Cyclotella socialis*) y *Desmidiáceas*, deduciendo de todas ellas que las esculturas externas que se hallan en la superficie de las membranas celulares de estas plantas, no pueden provenir de la actividad directa del protoplasma interno, y, por tanto, no pueden ser explicadas ni por aposición ni por intussuscepción de éste.

Dicho protoplasma extramembranoso emite pseudópodos y está dotado de movimientos amiboideos.

**Espesamiento mixto.**—Este crecimiento de la membrana celular, observado principalmente en las células libres, es ori-

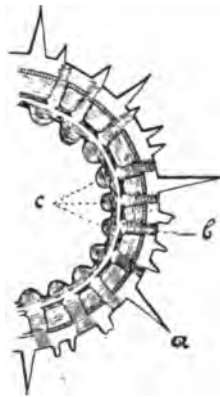


Fig. 50.—Grano de polen de la *Alibaea rosea*.—a, puntas ó espinas; b, poros, y c, casquetes esféricos celulósicos cubriendo los poros por la pared interna de la membrana.

(1) Schutt, *Centrifugal Dickenwachstum und extramembranöses plasma*: *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 1899.

gínado, como su nombre lo indica, por formaciones debidas al curso de espesamientos centrípeto y centrífugo.

El ejemplo más notable que se cita respecto á esta formación mixta, es el polen de la malva real (*Althæa rosea*). En efecto: estudiados estos granos de polen al microscopio, ofrecen esculturas en relieve (*puntas ó espinas*) (fig. 50, *a*) y esculturas en hueco (*poros*) (fig. 50, *b*), que acreditan un espesamiento centrífugo local; y además se hallan adornados interiormente de emergencias semiesféricas y celulósicas, adosadas á la cara interna de la membrana, cubriendo precisamente el orificio interno de los poros (fig. 50, *c*), cuyas formaciones son dependientes de un espesamiento centrípeto.

## CAPÍTULO II

### ESTRUCTURA, PROPIEDADES Y SUBSTANCIAS ASOCIADAS

**Estructura de la membrana.**—Con este nombre entendemos la disposición de las partículas celulósicas en el interior de la membrana celular.

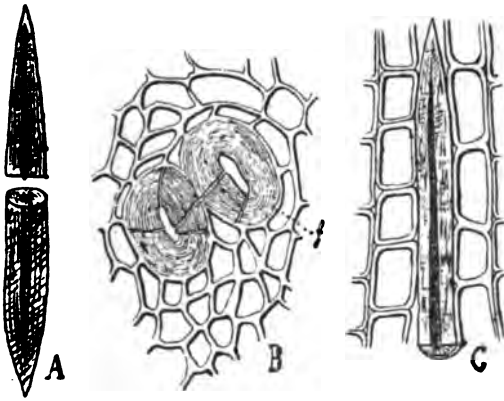
Para estudiar esta disposición, elegiremos las fibras liberianas del *Larix europæa* (figs. 51 á 53) que sean suficientemente espesas. Efectuando en los tallos secciones transversales, notaremos que dichas fibras (fig. 51, B) están formadas por varias capas alternativamente claras y oscuras. Esta estratificación desaparece por la acción deshidratante del alcohol absoluto, lo que prueba que es debida á una desigual repartición del agua de constitución según el espesor; siendo las capas claras y brillantes más espesas, refringentes y menos hidratadas, y las oscuras, más blandas é hidratadas y menos refringentes. Si la membrana es delgada, presenta tres capas nada más: dos claras, y una oscura interpuesta.

- Examinando ahora las mismas fibras enteras y de frente, bien practicando cortes longitudinales en los tallos (fig. 51, C), bien aislando las fibras por maceración (fig. 51, A), distinguiremos fácilmente dos sistemas cruzados de estrías paralelas alternativamente claras y oscuras y más ó menos oblicuas

con relación al eje de la fibra. Dicha estriación oblicua subdivide la fibra en zonas claras y oscuras; y como estas tintas desaparecen por la desecación, se comprende que su causa no es otra que la desigual hidratación molecular.

Este cruzamiento da lugar á prismas perpendiculares á la superficie libre de la fibra; y como cada uno de ellos, considerado en dirección al espesor de la membrana, es alternativamente claro y oscuro, según ha revelado la estriación concéntrica en la sección transversal, y además las estriaciones indican que hay tres direcciones de crucero en estos cristaloideos celulósicos, resulta, finalmente, que la membrana está constituida por pequeños é innumerables paralelepípedos celulósicos que difieren por la proporción de agua que contienen.

Ahora bien: así como los tres planos de crucero aseguran esta estructura en la membrana celular, el mecanismo de su formación lo prevén en cierto modo.



Figs. 51 á 53.—A, fibra separada por maceración, en la que se distinguen las tres estriaciones.—B, sección transversal de la fibra del *Lavix europaea*: f, dos fibras con su estriación concéntrica y con dos puntuaciones ordinarias en comunicación.—C, sección longitudinal de una fibra con la estriación oblicua.

En efecto: en el capítulo anterior se dijo que el crecimiento superficial de la membrana era debido á la interposición de partículas celulósicas ó dermatosomas entre las caras laterales de los pequeños prismas ya formados, bien para unirse á éstos y aumentar sus dimensiones, bien para condensarse por sí y

Constituir nuevos paralelepípedos celulósicos que se intercalen entre los antiguos.

Si á esto se añade que dichos prismas aumentan de volumen por absorción de agua, y ésta se reparte desigualmente en la masa de cada uno de ellos, según indica la general estructura zonar, resulta que dichos prismas se interpolan y acoplan al mismo tiempo sujetándose á sus porciones más ó menos hidratadas, que son otros tantos y más pequeños prismas de refringencia diferentes, cuya suma total y parcialmente ordenada da origen á la tan conocida y característica estriación concéntrica en la membrana.

El crecimiento en espesor tiene como causa la aposición interna de partículas celulósicas sobre las bases de los prismas celulósicos ya formados; y como á medida que el prisma se alarga hacia el interior absorbe agua que ordenadamente se reparte, el paralelepípedo interno se divide en tres, siendo el mediano más hidratado.

Este modo de formación, trasladado á la capa externa de la membrana celulósica en atención á la permeabilidad de ésta, da origen al crecimiento centrífugo de la misma.

**Propiedades físicas.**—La membrana celular es sólida, muy permeable á los gases, agua y substancias que ésta lleve en disolución. Su resistencia á la presión y tracción, como aumenta á medida que disminuye la cantidad de agua de imbibición, varía considerablemente: así sucede que hay membranas celulares que se rompen con relativa facilidad, mientras que otras, como las de las fibras, ofrecen una resistencia comparable á la del acero. La elasticidad, por el contrario, se halla en razón directa del agua que contiene la membrana, variando su coeficiente según tres direcciones que dan por resultado tres ejes de elasticidad, mayor, mediano y menor, los cuales corresponden respectivamente á la longitud, radio y tangente transversal de la membrana. Es birrefringente, y esta propiedad es tanto mayor, cuanto menor es la hidratación y más incrustada se halla de principios tánicos. Como consecuencia de esta birrefringencia, toda sección observada en el microscopio polarizante aparecerá adornada de una cruz negra sobre fondo claro.

Su coeficiente de dilatación, determinado en las fibras del leño, es mayor según el radio que siguiendo el eje de estos.



elementos, y lo mismo se verifica con respecto á su poder absorbente por el agua. Así sucede que las fibras embebidas de agua, son más cortas que las fibras secas, y esto explica que las cuerdas de cáñamo se acorten notablemente con la humedad hasta romperla. Inversamente, las fibras, al desecarse, se estrechan más proporcionalmente según su espesor que según su longitud, propiedad física notable que determina la dehiscencia de los frutos.

En suma: la birrefringencia y la disposición estratificada de la membrana, conducen á creer que ésta posee una estructura cristalina, resultado probable de la yuxtaposición de cristalitos celulósicos sumamente diminutos y birrefringentes.

**Propiedades químicas.** — Es un hidrato de carbono ( $C_6 H_{10} O_5$ )<sup>n</sup>, más condensado que la fórmula probable del almidón ( $C_6 H_{10} O_5$ )<sup>5</sup>, por lo cual *n* es superior á 5.

Tollens ha propuesto para el almidón la fórmula ( $C_6 H_{10} O_5$ )<sup>10</sup>, en cuyo caso corresponde para la celulosa por lo menos ( $C_6 H_{10} O_5$ )<sup>30</sup>. Sin embargo, los botánicos admiten en sus obras las fórmulas por nosotros aceptadas.

Por la ebullición con los ácidos, y á veces ayudando esta acción con la potasa concentrada, las celulosas más condensadas se hidratan, desdoblándose en celulosas menos condensadas y maltosas; y siguiendo estas transformaciones, se llegaría á la granulosa del almidón, siendo glucosa el final de la acción de estos reactivos sobre la membrana.

La celulosa menos condensada corresponde á la fórmula ( $C_6 H_{10} O_5$ )<sup>6</sup>; constituye la membrana de las células de reciente formación, y lleva los nombres de *hemicelulosa* por Schulze, *amiloide* ó *hidrocelulosa* por Mangin, y el de *celulosa típica*, ó propiamente dicha, por la mayoría de los botánicos. Es sólida, blanca, translúcida, insoluble en la potasa y otros álcalis diluidos, y también en los ácidos diluidos, alcohol y éter. Se disuelve en los ácidos y álcalis concentrados y en el *óxido cúprico amoniacal* (reactivo de Schweizer), y de esta disolución se precipita en copos gelatinosos tratándola con el agua, ácidos diluidos y algunas sales. En presencia del *cloruro de zinc* ó *cloruro de calcio yodados*, ó bien con el ácido *sulfúrico* y el *yodo*, toma coloración azul.

**Cristalización de la celulosa.**—La circunstancia de disolverse la celulosa en el reactivo Schweizer y el precipitarse de esta disolución en copos gelatinosos por medio del agua destilada, ha servido de base á Gilson (1) para hacerla cristalizar en el interior de las células.

Para conseguir dicho fin, realiza su experimentación en las células parenquimatosas de la *Astrapea Wallichii*, y advierte que siempre se deben elegir tejidos vegetales que no contengan almidón y cuyas células sean grandes como las de la raíz de la remolacha, etc.

Su primera operación consiste en desembarazar á las cubiertas celulósicas de sus contenidos celulares por medio del agua de Javel (solución de hipoclorito de potasio, de sodio, de calcio, ó lejías de potasa y de sosa), y someter después cortes gruesos del tejido, durante doce horas y en vasija cerrada, á la acción del óxido cúprico amoniacal (reactivo Schweizer). Pasado este tiempo, decanta el líquido; y el depósito gelatinoso que resulta en el fondo de la vasija, es tratado por espacio de media hora, y en vasija también cerrada, á la acción del amoniaco. Decanta segunda vez, y vuelve á someter el cuerpo durante diez minutos á la acción de dicho agente alcalino. Y así continúa disminuyendo progresivamente el tiempo de acción en todas las lociones amoniacaes, hasta que los cortes resulten incoloros, en cuyo caso se lavan varias veces en agua destilada, y de este modo la celulosa cristaliza en el interior de las células.

Los diferentes lavados practicados en el amoniaco, tienen por objeto desembarazar á la celulosa de la coloración verde que resulta á consecuencia de los compuestos cúpricos que se depositan bajo la acción del reactivo Schweizer: por eso una vez conseguida la pureza de la celulosa, se la trata por el agua destilada para que cristalice.

Es muy conveniente colorear la celulosa con el cloruro de zinc yodado ó con el rojo de congo, para que las bellas arborescencias ó esfero-cristales de dicha substancia tomen la coloración azul ó roja respectivamente. En el primer caso, es necesario aclarar las preparaciones lavándolas con ácido acético ó ácido clorhídrico diluído; en el segundo no precisa este esclarecimiento.

Según el amoniaco que se emplee, los cristales se agrupan de modo diferente. Así, con el amoniaco al 5 por 100, se obtienen pequeños esfero-cristales, y con una solución al 10 por 100, los esfero-cristales son más voluminosos mezclados de arborescencias cristalinas.

La celulosa fija diversas materias colorantes, que se han clasificado en dos grupos: unos son de función *básica* (orseillina BB, croceína brillante, negro naftol) y tiñen la celulosa en

(1) Gilson, *La cristallisation de la cellulose et la composition chimique de la membrane cellulaire vegetale: La cellule*, tomo IX, 2.º fascículo, 1893.

baños ácidos ó neutros; otras son de función *ácida* (benzidina, toluidina, xilidina, etc., rojos de congo, heliotropo, benzo-purpurina, benzoazurina, azoazules y azovioletas), y tiñen la celulosa en baño alcalino (1). Todos estos reactivos colorantes se emplean en solución acuosa y se fijan rápidamente sobre las membranas celulares de constitución celulósica típica, todo lo cual indica que ésta es de función básica ó neutra.

Las celulosas de otros muchos tejidos se colorean difícilmente, y para que la fijación sea inmediata y se produzca con gran intensidad, se hace necesario tratar previamente los cortes por los álcalis cáusticos en disoluciones al 10 por 100. De este modo el carmín aluminico de Grenacher colorea en rosa; la hematoxilina en violeta; el pardo de anilina en pardo; el rojo de congo en rosa, etc. Mas como estas coloraciones varían mucho á consecuencia del estado particular de condensación de la celulosa, se recurre principalmente para reconocer á ésta á los reactivos clásicos citados anteriormente, ó sea al cloroyoduro de zinc ó de calcio, ó á la acción sucesiva del ácido sulfúrico y yodo, *siempre que previamente hayan sido tratadas las membranas celulósicas por los álcalis cáusticos.*

Todos los principiantes que han tenido ocasión de tratar la celulosa por el cloroyoduro de zinc, preconizado por Naegeli en 1858, y por el ácido sulfúrico y el yodo según el procedimiento de Schleiden, han sufrido continuas decepciones.

En efecto: por bueno y fresco que sea el cloruro de zinc yodado, los resultados positivos que con él se obtienen son muy raros, y además ofrece el inconveniente de no producir coloración azul hasta pasadas algunas horas. Si á la acción del ácido sulfúrico y el yodo nos referimos, su empleo es mucho más delicado; puesto que si es concentrado, hincha las membranas celulares y las altera, y, en cambio, si es muy diluído, no produce acción alguna; por otra parte, su mezcla con el agua de imbibición de las membranas determina una elevación de temperatura más ó menos considerable, de suerte que en las diversas partes del corte es difícil de tener el mismo grado de concentración, y, por tanto, de coloración.

En vista de estos inconvenientes, Mangin ha precisado las condiciones en las cuales las reacciones de la celulosa deben efectuarse su-

(1) Estas materias colorantes son fabricadas por la casa Bayer et Cie, de Eiferfeld, cuyo representante en París es M. J. Kahrés, 23, rue d'Engheim.

ministrando á la histología vegetal cómodos y seguros procedimientos, pues ha llegado á demostrar que todas las decepciones de coloración anteriormente manifestadas provienen casi siempre de que la celulosa no se halla en el estado de celulosa típica, llamada por él *hidrocelulosa*.

Por eso aconseja la acción previa de los álcalis cáusticos sobre la celulosa, pues de este modo se origina un cuerpo fácil de colorear. Este cuerpo, resultado de una transformación, es análogo, si no idéntico, según Schleiden (1), al que se obtiene tratando la celulosa por los ácidos.

Por esta razón, es de un éxito seguro y produce resultados admirables llegar á la transformación indicada por Schleiden sirviéndose de una *solución alcohólica saturada de potasa ó de sosa*. Se añade en seguida el reactivo colorante, y obtendremos la coloración característica de la celulosa, ora sean reactivos yodados, bien materias colorantes orgánicas.

Es muy conveniente, para observar los caracteres de la celulosa, dejar libres los esqueletos celulósicos destruyendo el protoplasma ó contenido celular, lo cual se consigue fácilmente por medio de soluciones concentradas de potasa, disoluciones de hipoclorito de potasio ó de sodio, ó lejía de las droguerías.

Las variedades de la celulosa típica son dos: una, llamada  $\alpha$ , atacable por el *Bacillus amylobacter*, que la descompone en ácido butírico, hidrógeno y anhídrido carbónico; y otra,  $\beta$ , que resiste á la acción de este microbio vegetal. Ambas variedades generalmente coexisten en las membranas vegetales.

Las celulosas *más condensadas* no se disuelven en el reactivo Schweizer, y entre ellas tenemos como más importantes: la *Paracelulosa* ( $C_6 H_{10} O_5$ )<sup>n</sup> ><sup>6</sup> de muchas membranas vegetales, que toma los caracteres de la celulosa después de la ebullición por los ácidos; y la *Metacelulosa ó Fongina* ( $C_6 H_{10} O_5$ )<sup>n</sup> ><sup>7</sup> de los Basidiomicetes y Ascomicetes (Hongos), que para transformarse en celulosa es necesario ayudar á la ebullición por los ácidos con una digestión prolongada de dos á tres semanas por potasa concentrada é hirviendo.

Las celulosas típicas suelen estar asociadas generalmente á otros principios ternarios insolubles en el reactivo, entre los

(1) Schleiden, *Wiegmann Archiv.*, 1838.

cuales se hallan los *principios pécticos* con los compuestos análogos *gomas y mucilagos* y la *callosa*.

**Principios pécticos.**— Estos principios pécticos se encuentran bien al estado insoluble en las membranas ó asociados á la celulosa, bien, finalmente, disueltos en el jugo celular (frutos, raíz de zanahoria, etc.)

Se distinguen cuatro principalmente: la *pectosa*, *pectina*, *ácido péctico* y *metapéctico*.

Todos ellos se oxidan por la acción del ácido nítrico y se convierten en *ácido múcico*; y cada uno separadamente es disuelto por los álcalis ó ácidos diluïdos, á excepci3n de la pectina que es soluble en el agua. No se colorean en azul por el cloroyoduro de zinc, ni en presencia del yodo, ni bajo la acción del ácido sulfúrico con el yodo, como las celulosas típicas.

No fijan los mismos colorantes que la celulosa, y la razón es clara: ésta es básica frente á los colorantes, mientras que los compuestos pécticos, por tener función ácida, tienen predilección por los colorantes básicos (azul de metileno, verde de yodo), y el licor en el cual actúen dichos colorantes debe ser neutro ó ligeramente ácido.

La *pectosa* está casi siempre asociada á la celulosa, de la cual se distingue por su insolubilidad en el reactivo Schweizer. No se puede aislar á causa de su alterabilidad, pues todos los reactivos que traten de separarla de la celulosa la transforman en ácido péctico, sucediendo lo mismo con el reactivo Schweizer si tratáramos con este líquido disolver la celulosa. Adquiere con la zafranina un color naranjado, y con el rojo de rukenio color rosa. Conveniente será no olvidar que antes de emplear estas substancias colorantes acuosas, se deben tratar los cortes del tejido por examinar con una disolución de ácido acético al 3 por 100, y después de lavado en agua destilada usar del reactivo colorante.

La *pectina* es un principio que existe en disolución, más ó menos espeso, en el jugo celular de los frutos maduros y de la raíz de la zanahoria. Es transformado por el fermento especial *pectasa* en ácido péctico, cuerpo insoluble y fácilmente gelatinizable. Esta transformación no se cumple sino en presencia de las sales de calcio del jugo, de suerte que el ácido péctico pasa al estado de pectato de calcio. De consiguiente, si quisiéramos parar la gelatinización de la pectina, bastaría

eliminar la acción de la cal del jugo por una cantidad exacta de oxalato de potasio.

La fermentación péctica se produce naturalmente en todos los jugos de los frutos (grosella...) abandonados á sí mismos durante uno ó dos días, y gracias á ella estos jugos concentrados se transforman en jalea.

El *ácido péctico* es el más importante de todos y se encuentra en la membrana celular bajo la forma de *pectato de calcio*, constituyendo la lámina media, materia intercelular ó cemento, que une las células para formar los tejidos. En presencia de los carbonatos alcalinos pasa el estado mucilaginoso ó gelatinoso sin disolverse, y en presencia del oxalato amónico, la fluidez es completa.

Según esto, para disociar un tejido blando, es suficiente macerarlo en oxalato amónico que disuelve el pectato de calcio, ó también puede emplearse un ácido diluído como el clorhídrico, que transforme el pectato en ácido péctico, y un carbonato alcalino que disuelve éste. La misma disociación se cumpliría macerando los tejidos á la larga por la acción del *Bacillus amylobacter*: sirva de ejemplo el *enriado* de los linos.

Con el reactivo Schweizer, forma una red delicada de pectinato de cobre de color rojo.

El *ácido metapéctico* es el resultado de la acción prolongada de los álcalis sobre el ácido péctico, y ha sido reconocido como idéntico al *ácido arábico* ó *arabina* de las gomas. Como éstas, se transforma parcialmente por la acción de los ácidos diluídos en *arabinosa* ( $C_5 H_{10} O_5$ ), azúcar del grupo de las pentosas y un ácido orgánico mal conocido.

Esta reacción distingue los principios pécticos de los hidratos de carbono propiamente dichos; estos últimos, bajo la misma acción, dan glucosa y no arabinosa.

Las investigaciones de Mangin (1) han demostrado que la repartición de los compuestos pécticos es muy general y de una evidente importancia en la arquitectura de las plantas. Por excepción se hallan desprovistos de dichos compuestos las

(1) L. Mangin, *Recherches anatomiques sur la distribution des composés pectiques chez les végétaux. Travail publié par extraits, dans le Journal de Botanique*, 1891, 1892, 1893. *Tirage apart de l'ensemble*, 1893.

membranas celulares de algunos accidentes epidérmicos, como los pelos.

De los cuatro principios pécticos anteriormente indicados, sólo la *pectosa* y el *ácido péctico* son los más esparcidos. Así como el más sensible y característico de los reactivos colorantes es, en opinión de los citólogos, el producto mineral llamado *rojo de rutenio* ú oxiclورو de rutenio, descubierto por Joly (1) y aplicado por Mangin (2) para delatar los compuestos pécticos. Dicho reactivo, por ser de naturaleza básica, es muy apto para fijarse en estos compuestos ácidos, mientras que es inerte frente á la celulosa y la callosa; y tiene además la ventaja, en medio ácido, de dar coloraciones inalterables, de tal modo, que los cortes pueden ser deshidratados por la glicerina ó el alcohol y montados en el bálsamo, lo que no se ha podido conseguir con las materias colorantes artificiales.

**Gomas** ( $C_6 H_{10} O_5$ )<sup>n</sup>.—Estos productos están estrechamente ligados á los principios pécticos por sus propiedades químicas, y como éstos se caracterizan porque con el ácido nítrico se convierten en ácido múcico, y si la oxidación es más intensa en ácido oxálico.

Como los principios pécticos (pectina) pueden encontrarse en disolución más ó menos espesa y mucilaginososa en el jugo celular y arrojados al exterior á través de las membranas celulares, son depositados como productos de secreción en los espacios intercelulares (canales gummíferos del tallo y hojas de las Cicadeas); si bien frecuentemente son consecuencia de una *transformación de los principios pécticos de la membrana celulósica* ó de desorganizaciones de tejidos.

Los principios esenciales constitutivos de las gomas son: la *arabina* (acacias de la Arabia, del Senegal, y también la parte soluble de la goma del cerezo y otras rosáceas), y la *cerasina* (*goma nostras* de los cerezos, abridores); principios ambos vecinos de la pectina, dando origen por hidrólisis á glucosas (galactosa) y arabinosa (pectosas).

La *arabina* (ácido arábico, ácido gummico) constituye la

(1) Louis Gaucher, *Etude générale de la membrane cellulaire chez les végétaux*: París, 1904, pág. 157.

(2) L. Mangin, *Sur l'emploi du rouge de ruthenium en anatomie végétale*: C. R., 1893, tomo 116, pág. 653.

mayor parte de la goma arábica, se halla al estado de gummato de cal, es soluble en el agua y á la temperatura de 150° es transforma en ácido metagúmmico. Se aísla tratando en frío una disolución de goma por el ácido clorhídrico y precipitando el líquido por el alcohol. Es idéntico al ácido metapéctico y se transforma como éste bajo la acción de los ácidos diluídos en *arabinosa*, azúcar del grupo de las pentosas, y en ácido orgánico mal conocido todavía.

La *cerasina* (ácido metarábico, ácido metagúmmico) constituye la mayor parte de la goma del cerezo, que no se disuelve en agua fría y sí en la caliente.

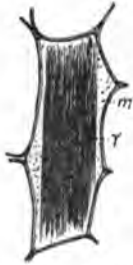


Fig. 54. — Célula con jugo gomoso ó mucilaginoso y rafides de oxalato de cal (*Aloe socotrina*). — *m*, jugo mucilaginoso; *r*, rafides.

Su producción, como hemos dicho, está ligada directamente á una transformación de las membranas celulósicas á expensas del contenido celular: así sucede que encierran, además de los principios gomosos, diversas sustancias extrañas, como granos de almidón, fragmentos de membrana no transformados, sales minerales, etc. De esta transformación, llamada *gummificación*, trataremos más adelante.

Los caracteres microquímicos de las gomas son los siguientes: se disuelven en el agua fría ó caliente, adquiriendo ésta una *viscosidad* particular; el alcohol las precipita imprimiéndolas un aspecto *fibrilar ó retiforme* característico; con el sulfato de sesquióxido de hierro dan un precipitado abundante soluble en el ácido acético, lo que no sucede con las dextrinas; no se colorean ni en azul ni en rojo por el yodo; la anilina las tiñe en rojo cárneo ó púrpura, y en rojo por el violeta de Hanstein.

*Advertencia.*—La *viscina*, substancia próxima á las gomas, es una materia viscosa y muy pegajosa que se encuentra en abundancia en los frutos del muérdago, receptáculos fructíferos del *Atractylis* y diversos *Carduus* y *Cirsium*, etc., que sirve para fabricar la liga.

*Mucilagos.*—Se aproximan á las gomas y principios pécticos, por tener los mismos caracteres que éstos, diferenciándose, sin embargo, por hincharse en el agua sin disolverse entera-



mente, comunicando á éstas una consistencia gelatinosa (semillas de zaragatona, lino...)

Son mezclas complejas y amorfas, acompañadas de rafides y maclas de oxalato de cal (raíces tuberculosas de las orquídeas, hojas del áloe (fig. 54), raíces de malva real, saponaria, etc.), que no nutren á la planta y sirven para fijar y acumular el agua en las células, excepción hecha del tilo, en cuya planta las capas mucilaginosas más interiores de cada célula desaparecen en el momento de la floración. En presencia del alumbre, sublimado corrosivo y acetato tribásico de plomo, se coagulan más ó menos según el mucílago y el reactivo empleados. Fijan la tintura de campeche, el violeta de Hanstein, el rojo de rutenio y el rojo de congo.

El principio esencial constitutivo de los mucílago parece

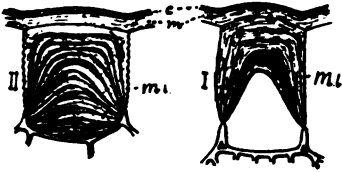


Fig. 55.—Epidermis del tegumento de la semilla del lino.—I, antes de hincharse las capas mucilaginosas: *mi*, mucílago intracelular.—II, después de hincharse.

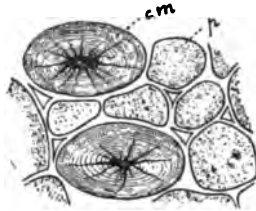


Fig. 56.—*cm*, células de mucílago de la *Malva oxyacanthoides*.

ser la *basorina*, muy abundante en la *goma tragacanto* y producida en la medula y radios medulares de algunas especies de leguminosas correspondientes al género *Astragalus* (*A. Tragacantha*, *creticus*, etc.)

El origen de los mucílago es el mismo que el de las gomas, y su naturaleza frecuentemente péctica. Unos son *intracelulares*, y se originan en la cara interna de la membrana celular formando una estratificación muy regular (semilla del lino, fig. 55), células parenquimatosas de las *malváceas* (fig. 56), semilla de la *Æthionema heterocarpum* (fig. 57). Otros *superficiales*, y se constituyen sobre la cara externa de la membrana (vaina mucilaginosas que envuelve los filamentos celulares de las *Zygnemas*, fig. 58). Y finalmente, los hay *intercelulares* formados por gelatinización de la lámina media pectósica que

separa unas de otras á las células (*Laminarias*, *Fucus vesiculosus*, fig. 59), envuelta gelatinosa de las Nostocáceas (fig. 60), albumen del algarrobo (*Ceratonia siliqua*) y el Agar-agar,

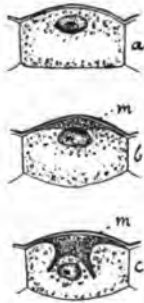


Fig. 57.—Células epidérmicas del tegumento seminal de la *Aethionema heterocarpum*.—*a*, *b*, *c*, estados sucesivos de desarrollo del mucilago intracelular *m*. El núcleo aproximado á los focos de formación.

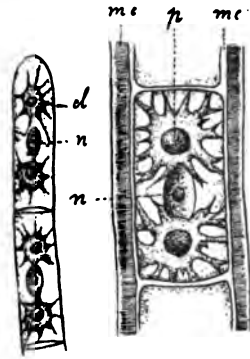


Fig. 58.—*Zygnema cruciatum*.—  
A la izquierda un filamento del alga: *cl*, cloroplasmitos estrellados; *n*, núcleo.—A la derecha célula de la misma alga alimentada: *mc*, membrana celular; *me*, capa externa con estrias de mucilago; *p*, pirenoídes.

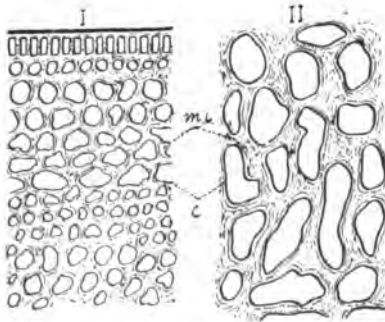


Fig. 59.—I, corte transversal del tallo del *Fucus vesiculosus*.—II, porción más gruesa del mismo; *mi*, mucilago intercelular; *c*, células.

extraído de un alga florídea del mar Indico (*Gelidium spiriforme*).

En casi todos los casos, el mucilago se colorea por el azul de metileno, violeta de metilo, vesuvina, violeta de genciana, y, sobre todo, fija muy bien el verde de metilo acidulado por ácido acético.

Mangin (1), tomando

(1) Mangin, *Sur un essai de classification des mucilages*. Bull. Soc. bot. de France: Août, 1894.

por base el origen y la naturaleza de las reacciones, ha clasificado los mucilagos en *simples*, *mixtos* é *indeterminados*.

Los *mucilagos simples* comprenden: 1.º *Mucilagos celulósicos*, delatados por las reacciones de la celulosa, es decir, que azulean con el cloruro de zinc yodado (tubérculos de las orquídeas). 2.º *Mucilagos pectósicos*, no encierran celulosa y dan exclusivamente las reacciones de los compuestos pécticos (malváceas, rosáceas, células con rafides (*Enothera*), *Fucus*, *Nostoe*, canales de los Tilos). Y 3.º *Mucilagos callósicos*, presentan las reacciones de la callosa y se encuentran en todos los tejidos expuestos á una pronta ó rápida liquefacción (*callus* de los vasos cribsos, membrana del esporangio de las mucoríneas, membrana de las células madres de los granos de polen, etc.)

Los *mucilagos mixtos*, ordinariamente epidérmicos, encierran celulosa mezclada con principios pécticos, y azulean por el cloru-

ro de zinc yodado (semillas del membrillo, de algunas crucíferas, del *Plantago Psyllium* ó zaragatona), y también entran en este grupo las semillas del lino, que por su carácter más pectósico no azulean con el reactivo antedicho.

Los *mucilagos indeterminados* de Mangin, son aquéllos que dan reacciones particulares y sin relación alguna con los grupos anteriores.

**Callosa.**—Es un principio ternario esencialmente péctico, cuya composición química molecular, del mismo modo que la de la pectosa, celulosa y sus variedades, no se ha podido averiguar con exactitud. Es muy soluble en el cloruro de calcio y en la potasa cáustica en frío, é insoluble en los carbonatos alcalinos y amoniaco, que la hinchan y gelatinizan.

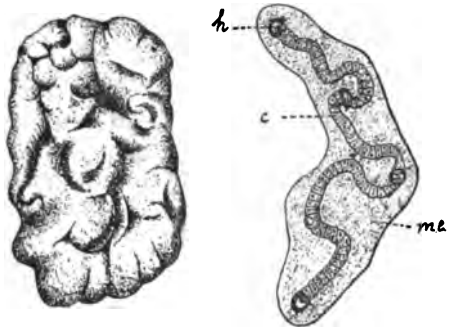


Fig. 60.—A la izquierda un *Nostoe* entero envuelto en mucilago. A la derecha filamento de dicha alga.—c, células normales; b, heterocistos; me, mucilago exterior dependiente de la membrana.

Se caracteriza por el color azulado que le comunica la solución acuosa de azul de anilina. Pero como la celulosa, pectosa, protoplasma y núcleos se colorean igualmente con el citado reactivo, se hace necesario, para distinguir ó delatar á la callosa, un buen lavado en glicerina que decolora lentamente el tejido, salvo los núcleos y la callosa.

Se distingue también de la celulosa en que es insoluble en el reactivo Schweizer y no se colorea por el cloruro de zinc yodado; y difiere de la pectosa por no colorearse con el rojo de rutenio, eosina y azul de metileno.

En cambio, la callosa, y no la pectosa, se tiñe en baño alcalino por la benzoazurina y la benzopurpurina; y también en rojo por el ácido rosólico ó coralina disuelta en carbonato de sosa.

Finalmente, la callosa se encuentra en los tejidos vegetales, ora impregnando la materia intermedia ó intercelular de las células madres de los granos de polen, bien unida á la celulosa (*Peronospora* y vasos cribosos), bien asociada á principios pécticos (*Polyporus*).

### CAPÍTULO III

#### MODIFICACIONES DE LA MEMBRANA

**Modificaciones de la membrana celular.**—A medida que la célula avanza en edad, sufre su membrana cambios importantes de aspecto y composición, con objeto de adaptarse al medio y asegurar de este modo funciones especiales como las de protección, sostén, etc.

Estos cambios ó alteraciones se realizan, bien por *transformación* más ó menos completa de la membrana celulósica en un cuerpo nuevo, dando lugar, según sea éste, á la *cutinización*, *suberización*, *gummificación*, *gelificación* y *liquefacción*, bien por *incrustación* de la membrana celulósica, á consecuencia de principios orgánicos y minerales que la impregnan y enmascaran más ó menos profundamente las propiedades de la celulosa, como son la *lignificación*, *cerificación*, *mineralización* y *coloración*.

**Cutinización.**—Es la transformación que experimentan las membranas celulósicas de las células libres (granos de polen, esporas, etc.), y también la cara libre de las células asociadas, constituyendo el tejido epidérmico de los tallos jóvenes y hojas. Por esta transformación, la capa celulósica externa de estas partes ó tejidos vegetales, expuesta directamente á la acción del medio ambiente, se torna en una substancia ternaria mucho más pobre en oxígeno que la celulosa típica, cuya fórmula parece ser  $(C_6 H_{10} O)_n$ , con el nombre de *cutina*, análoga á la *cutosa* de Fremy. Esta substancia, dotada de una gran impermeabilidad por la *cerina* que contiene, forma láminas muy delgadas aplicadas contra las membranas pecto-celulósicas en las plantas de los climas húmedos, mientras que en los vegetales de los climas secos son capas mucho más espesas y reforzadas.

La cutinización sólo se cumple en la cara más externa de la pared libre de las células, quedando la interna con su carácter celulósico. Y la lámina continua cutinizada que cubre de este modo el tallo y las hojas, recibe el nombre de *cutícula*. Esta se separa fácilmente por maceración en agua fría, y sus caracteres son los siguientes: se colorea en amarillo por el cloroyoduro de zinc y fija los colores de anilina, principalmente la fuchsina. El mejor reactivo colorante parece ser, sin embargo, la tintura alcohólica de *Alkanna tinctoria*, que le da una coloración rosa.

Se disuelve por la potasa en caliente y también en el reactivo de Schultze (mezcla de clorato de potasio y ácido nítrico).

Se distingue de la lignina porque no se colorea con la floroglucina adicionada de ácido clorhídrico, ni con el sulfato de anilina; y de la suberina porque resiste mucho mejor la acción de la potasa y es mucho más abundante en cerina según Höhnel.

Cuando la membrana cutinizada adquiere un gran espesor (acebo), encontramos entre la cutícula y la zona celulósica interna, todavía inalterable, una ó dos láminas intermediarias de composición mixta, es decir, de celulosa más ó menos impregnada de cutina, llamada *capa cuticular*.

**Suberización.**—Es una modificación por la cual las capas celulares subyacentes á las periféricas, transforman sus membranas en una substancia amarillenta ó rojiza, impermeable

á los líquidos y gases, elástica y fuertemente refringente, que se llama *suberina*.

La suberización puede ser total ó parcial: en el primer caso hay transformación de la celulosa en suberina (sauce); en el segundo sólo impregnación (chopo).

La suberina es una substancia muy análoga, por no decir idéntica, á la cutina. Como ésta, tiene las mismas reacciones con los reactivos arriba mencionados, distinguiéndose únicamente en que el *ácido felónico* falta en la cutina y en ésta se halla más abundante la *cerina*.

La suberina, á la cual Fremy y Urbain han dado el nombre de *cutosa*, es de la naturaleza de las grasas según los análisis realizados por Kugler y Gilson. Estos autores han aislado del tejido suberoso una serie de ácidos grasos, entre los cuales se encuentran el ácido esteárico y además el felónico, suberínico y otros. Si, como enseña Kugler, se trata el corcho por el cloroformo hirviendo, se separa glicerina y una especie de cera denominada cerina. Y tan abundante es la cerina en el alcornoque, que según Gibson puede en el interior de las células cristalizar en agujas aplicadas en la cara interna de las membranas, las cuales se derriten y esparcen en forma de gotas, calentando ligeramente la preparación.

Sin embargo, en opinión de Gilson, no son cuerpos grasos en el verdadero sentido de la palabra, puesto que la suberina es infusible (salvo la cerina que contiene), y además insoluble en los disolventes ordinarios de las grasas.

Según esto, es muy probable que la suberina sea una mezcla de éteres compuestos poco fusibles en el alcohol, éter, cloroformo, etc., ó bien un producto de combinación, de condensación ó de polimerización de los ácidos citados anteriormente ó de sus derivados.

En resumen, los caracteres químicos de la suberina son los siguientes:

- 1.º El calor contribuye á la formación de las gotas de cerina que se distribuyen sobre las membranas suberizadas.
- 2.º Si se trata un corte de corcho por la potasa y después por el cloroyoduro de zinc, se colorea en rosa violáceo y después en rojo cobrizo. Esta reacción vecina de la celulosa se puede conseguir también por medio del yodo disuelto en yoduro de potasio, la cual induce á creer á Gilson que es debida al ácido felónico, formando felonato de potasio que se colorea en rojo cobrizo por el cloruro de zinc yodado.

3.º Como colorantes orgánicos, se emplean muy principalmente el Sudán III y la tintura de Alkanna (1). El verde de yodo y la fuchsina amoniaca colorean también el tejido suberoso.

Al conjunto de células suberizadas se denomina *corcho*, substancia muy desarrollada en el alcornoque y explotada para la industria corcho-taponera.

El corcho, á medida que avanza el crecimiento diametral de los tallos, aumenta su formación, ocasionando la ruptura de la epidermis y capa cuticular, á cuyos tejidos sustituye en el papel fisiológico de protección.

**Gummificación.**—Es una transformación por la cual la celulosa se convierte en un cuerpo isómero gomoso de naturaleza esencialmente péctica y muy soluble en el agua fría (arabina) ó caliente (cerasina).

Los elementos celulares llamados á sufrir la transformación gomosa, comienzan por espesar fuertemente sus membranas á expensas del contenido celular; se gummifican después estos espesamientos celulósicos, respetando algún tiempo la membrana celulósica primaria, hasta que al fin termina ésta por sufrir la misma transformación.

Estos espesamientos se colorean tanto más en rojo por el violeta de Hanstein, y tanto más en azul por el cloroyoduro de zinc, cuanto más ó menos avanzada sea la respectiva transformación de la celulosa en goma.

Comienza la transformación en los brotes tiernos de las

(1) La tintura de Alkanna preparada por simple disolución en el alcohol, precipita siempre. Para obviar este inconveniente, se prepara del modo siguiente: se deja en contacto, durante un día, 10 gramos de raíz de Alkanna pulverizada en 30 cc. de alcohol absoluto; se filtra y se evapora el alcohol en una estufa. El residuo se disuelve en 5 cc. de ácido acético cristalizante, y después se adicionan 50 cc. de alcohol de 50º; pasadas veinticuatro horas se filtra.

La tintura así obtenida se mantiene límpida. El ácido acético empleado no sólo es capaz de disolver la materia colorante roja de la raíz, sino que también contribuye poderosamente para que la acción del reactivo sea lo más rápida é intensa posible.

Durante la coloración de los cortes, es necesario evitar que la tintura se precipite á consecuencia de la evaporación del alcohol. De ocurrir este fenómeno se añaden algunas gotas de este líquido, y veremos cómo recobra su límpidez.

acacias gúmferas (*Acacia dealbata*) al nivel de la capa generatriz líbero-leñosa, desde cuyo punto la formación gomosa, fácilmente apreciable con los colorantes básicos (solución hidroalcohólica de rojo de Casella) alcanza al liber, radios medulares y parénquima del leño joven, hasta que la cavidad de los vasos y fibras leñosas no tarda en ser invadida por la goma, para después transformar acá y allá los grupos de células corticales.

En la viña, la goma está localizada en las puntuaciones de las células anejas en comunicación con los vasos, y su aparición responde á un espesamiento de naturaleza péctica que se origina en estas puntuaciones á expensas del protoplasma, y á medida que aquél crece, se hincha y rechaza al protoplasma contra la cara opuesta, formando una especie de hernia de lado de las puntuaciones celulares que se comunica con la formada de frente en las puntuaciones vasculares.

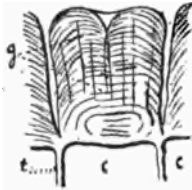


Fig. 61.—Goma con las estrías *g* bien marcadas. — *c*, células; *t*, tabiques.

Para reconocer las gomas en secciones ó cortes microscópicos, se opera del modo siguiente. Antes de practicar el corte se sumerge en alcohol absoluto la porción de la planta que se desea estudiar, en cuyo reactivo las gomas son insolubles. Se hace después el corte fuera del contacto del agua y se observa en el microscopio montado en

glicerina. De este modo los productos gomosos se caracterizan por sus estrías y refringencia especial, y porque si se añade un poco de agua, la goma desaparece inmediatamente (fig. 61).

**Gelificación.**—Es una transformación llamada también *gelatinización*, según la cual la membrana celular se espesa y su capa externa se convierte en una substancia isómera de la celulosa, de consistencia córnea al estado seco, y que en presencia del agua se hincha del mismo modo que los mucílagos. Así gelificada la membrana, no se colorea ni por el yodo ni por el cloroyoduro de zinc, y es insoluble en los ácidos, en la potasa y en el líquido cupro-amoniacoal.

La gelatinización es una transformación mucilaginoso, y, por tanto, su origen, como el de los mucílagos, puede ser intracelular, superficial é intercelular (véase pág. 73).



En los parenquimas gelificados al estado húmedo, las células constitutivas parecen estar sumergidas en el seno de una gelatina amorfa, y de aquí proviene el nombre de parenquimas *gelatinosos*: sirva de ejemplo el albumen del garrofero (*Ceratonia siliqua*). Otros parenquimas gelificados se hallan al estado seco y se llaman *córneos* (albumen del *Phenix dactylifera*, *Coffea arabica*, etc.), y puede ocurrir que las membranas celulósicas espesas lleguen á tener la consistencia y el aspecto del marfil, constituyendo el *marfil vegetal* (*Phytelephas*).

**Liquefacción.**—La celulosa se transforma á veces en una substancia gomosa ó dextrínica que se disuelve fácilmente en el agua. Esta transformación de las membranas en substancias fácilmente solubles en el agua y en condiciones de ser absorbidas por los elementos histológicos vecinos, recibe el nombre de *liquefacción*.

Dicha modificación, frecuentísima en las plantas y que puede realizarse *con ó sin reabsorción*, da lugar á la disociación ó separación de las células (granos de polen, esporas y células libres en general). La liquefacción es *local* si se verifica en uno ó varios puntos de la célula, originando de este modo poros, agujeros ó aberturas mayores ó menores, por los cuales se facilita la salida de otras células encerradas (esporas, zoosporas, anterozoides, etc.), ó el paso de las substancias de unas células á otras (células punteadas, areoladas, cribosas, etc.); y es *total* si la transformación líquida se extiende á toda la cubierta ó membrana celular, como sucede en las células madres de los anterozoides de las Muscíneas y Criptógamas vasculares, vasos leñosos de muchas plantas acuáticas y esporangios de algunas Mucoríneas.

**Lignificación.**—Consiste en la incrustación de ciertas substancias bajo la acción del protoplasma, entre las micelas ó dermatosomas de celulosa que forman las paredes, de modo que éstas no sólo aumentan de espesor con el proceso lignificante, sino que también cambian de propiedades físicas y químicas. Estas diversas substancias incrustantes, diferentemente combinadas ó mezcladas, dan lugar al principio ternario llamado por los botánicos *lignina* ó *vasculosa*, que además de ser mucho más rico en carbono que la celulosa, pues su fórmula, según indica Van Treghem, parece ser ( $C_{10} H_{12} O_5$ ), comunica ó presta á las membranas una gran dureza (leño

de los árboles, hueso de los frutos), y, por tanto, gran resistencia á los elementos histológicos para soportar el peso de las plantas.

La impregnación lignosa puede invadir la membrana *total* ó *parcialmente*: en este último caso la capa interna de las membranas se conserva celulósica (vasos de la madera del pino, fibras de la malva real).

La lignificación también puede ser *normal* ó *accidental*. Se dice normal siempre que las substancias incrustantes en los diferentes elementos histológicos de las plantas, se originen de un modo natural y fisiológico (vasos, fibras, párenquimas esclerosos, medula, radios medulares, y en muchos casos hasta en las paredes de las células estomáticas, como sucede en las Gimnospermas). Y es accidental, cuando se opera únicamente como medio defensivo en las heridas producidas, ora naturalmente (caída de hojas), ya artificialmente, ó por picadura de insectos (formación de agallas, etc.)

De aquí resulta que la lignificación aparece en las plantas como un procedimiento de *defensa colectiva* celular, mientras que la suberización es un medio de *defensa individual*.

La lignina es insoluble en el reactivo cupro-amoniaco y resiste á la acción del ácido sulfúrico concentrado y del *Bacillus amylobacter*. Las células lignificadas se aíslan con la maceración de Schultze. Bajo la acción del ácido nítrico ó la potasa en caliente y con presión, desaparecen en las células los principios lignificantes, y reaparecen, por consiguiente, los caracteres propios de la celulosa.

Se colorea la lignina en amarillo por el cloruro de zinc yodado; en rojo por la fuchsina; en verde por el verde de yodo; en rojo cereza por la zafranina; en amarillo por el sulfato de anilina, y en rosa ó rojo violeta por la *floroglucina adicionada de ácido clorhídrico*, y en algunos casos por la sola acción del ácido clorhídrico. Este reactivo, indicado por Wiesner, es el más sensible de todos. Ninguno de estos reactivos actúa sobre la celulosa, á excepción de la zafranina, que la tiñe de color naranja.

*Principios lignificantes*.—No cabe duda que la *lignina* de los botánicos, ó *vasculosa* de Fremy y Urbain, es un producto resultante de la mezcla, combinación ó condensación de diversas substancias formadas en el interior de las células á consecuen-

cia del metabolismo celular é incrustadas en las membranas de los elementos histológicos. Dichas substancias, á juzgar por los análisis de varios sabios, basados en el reactivo sensible indicado anteriormente, podemos agruparlas en *fundamentales* y *accesorias*. Entre las primeras citaremos los taninos, glucósidos (*coniferina* y *florizina*) y derivados de éstos, como la *vanilina*, que es un éter metílico del aldehído protocatéqui, co resultante de la oxidación de la coniferina, y la *floroglucina*, fenol trivalente que procede de la hidrolisis de la florizina; y además *pentosanas*, como la arabana y xilana (goma de leño), con sus derivados hidrolíticos respectivos, que originan la arabinosa y xilosa (azúcar de leño), del grupo de las *pentosas*. Entre las substancias accesorias se citan la *cutosa* (principio esencial de la cutina y suberina) y los compuestos nitrogenados.

Análogamente á lo manifestado respecto á la cutina y suberina, podemos asegurar que la Química moderna no ha resuelto todavía la verdadera composición de la lignina á pesar de sus continuadas investigaciones.

Algunos, como Tiemann y Haarmann, la suponen derivada de la coniferina; otros, como Wiessner (1880) y Singer (1882 y 1883), de la vanilina; no falta quien la cree próxima á las pentosanas y pentosas, como Pommaride y Figuiet, y, finalmente, Czapeck (1), en vista de sus novísimos análisis, descubre que la substancia más importante que interviene en la lignificación de las membranas es el *hadromal*.

Fundan sus conclusiones en que los productos por ellos obtenidos dan la coloración rojo-violada en presencia de la floroglucina adicionada por el ácido clorhídrico, y amarilla con el sulfato de anilina. Mas como de nuestras observaciones resulta que dicha coloración varía mucho de intensidad y se produce en algunos casos bajo la sola acción del ácido clorhídrico (*Cerassus lauro cerassus*, *Cerassus caproniana*, *Dictyogramma japonica*, *Philodendron*, etc.); como también ocurre que en el *Cerassus caproniana* la coloración roja es muy intensa bajo la acción de la vanilina y del ácido clorhídrico, lo cual demuestra que en esta planta, y en otras del mismo género, abunda mucho la floroglucina, y natural es que impregne las membranas, bien puede asegurarse que la lignina es un principio incrustante, mezcla en proporciones variables de substancias muy diversas que

(1) Louis Gaucher, *Étude générale de la membrane cellulaire chez les végétaux*: Paris, 1920, véase pág. 179.

pueden reducirse á tres grupos: substancias fundamentales, principio lignificante y substancias accesorias.

Son consideradas como substancias fundamentales la *xilana* ó goma de leño del grupo de las pentosanas, aislada por Pommaride y Figuiet del leño de las Angiospermas; así como la mannana y galactana encontradas en las Gimnospermas, cuyos compuestos han hecho suponer á Schulze que las membranas encierran anhidridos de diversas glucosas combinados de diferentes maneras según los tejidos. Y como estas pentosanas por hidrolisis pueden originar pentosas como la arabinosa y xilosa, se comprende que estos productos sean también factores integrantes de la lignina.

Si á los principios lignificantes nos referimos, el de más importancia, según Tiemann y Haarmann, es la *coniferina* (1), cuyo glucósido ha sido comprobado y defendido posteriormente por Tangl y Höhnel. Otros, como Wiesner y Singer, consideran más esencial la *vanilina*, pues esta substancia, con la floroglucina y el ácido clorhídrico, toma la coloración rojo-cereza. Y, finalmente, Czapeck separa recientemente de la lignina un producto especial, que denomina *hadromal*, con todas las reacciones propias de la materia incrustante.

Por último, entre las substancias accesorias de la lignina, se encuentra la *cutosa*, caracterizada, según Frey, por la coloración rojo-intensa que adquiere con el Sudán III, y análoga á la cutina y suberina, y también diversos *compuestos nitrogenados*, que han sido revelados por Geneau de Lamarlière en vista de las coloraciones que resultan con los reactivos colorantes propios, como son el verde de yodo, la fuchsina amoniacal, la tintura de yodo, y, principalmente, el azul de metileno y el pardo de Bismarck.

**Cerificación.**—La membrana epidérmica de muchas plantas está incrustada de principios céreos que dan á las hojas (*berza*, cenizos, *Eucaliptus*) y á los frutos (ciruelas) una apariencia glauca. Por su constitución, la cera vegetal debe estar colocada al lado de la cutina y suberina. Estos revestimientos céreos no son de cera pura, pues frecuentemente contienen grasas y ácidos grasos en cantidad variable, y algunas veces se mezclan con la sílice.

Se caracteriza dicha cera porque se funde con facilidad, desaparece en el alcohol hirviendo, es insoluble en alcohol frío,

(1) El ácido carbónico-clorhídrico, con la acción de los rayos solares, produce una coloración verde sobre la coniferina.

y muy soluble en el éter. Saponificadas las ceras, los éteres de los ácidos grasos no dan glicerina.

La cera vegetal, perfectamente manifiesta al microscopio, se nota á simple vista en la palmera de la cera de los Andes (figura 62) y en los frutos de la *Benincasa cerifera*, siendo objeto de explotación para los mismos usos que la cera de las abejas.

Su impermeabilidad hace que preserve á los órganos que recubre, de las lluvias, deslizándose éstas por la superficie de las hojas ú otros órganos céreos sin mojarlos (berza).

Para extraer la cera del interior, se calienta dentro del agua



Fig. 62.—Palmera de la cera de los Andes (*Klopfstockia cerifera*).—Sección transversal de la periferia de la hoja; la porción superior destacada es la capa de cera continua.

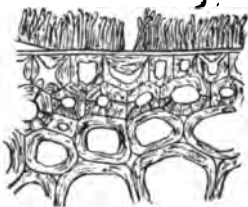


Fig. 63.—Bastoncitos de cera en la capa superficial del tallo del *Saccharum officinarum* (caña de azúcar).

una hoja con esta substancia, que se liquida formando gotitas pequeñas en la superficie del órgano vegetal.

La cera forma un revestimiento continuo, compuesto de láminas superpuestas (palmera de cera) (fig. 62), ó figurando bastoncitos rectos ú ondulados, exudados por la epidermis del tallo (caña de azúcar) (fig. 63), ó bien granulaciones microscópicas reunidas en la superficie, formando pequeños conjuntos verrucosos (tallo de *Eucaliptus*, fig. 64).

**Mineralización.**—La incrustación mineral en las membranas celulares, y ordinariamente debida á la caliza, sílice ú oxalato

de cal, se acumula hasta el extremo de impedir muchas veces las reacciones propias de la celulosa.

Puede ser homogénea, granulosa y cristalina.

En la mineralización *homogénea*, la celulosa se impregna uniformemente de la sustancia mineral, sin perder su transparencia. Sirvan de ejemplo el caparazón silíceo de las Diatomeas (fig. 65); la impregnación de la cutícula en los *Equisetum* ó colas de caballo, y las espículas de los tallos y hojas silicificadas del carrizo, trigo, maíz y otras gramíneas. En todas estas plantas, gracias á esta sustancia silíceá, es grande su impermeabilidad y solidez.



Fig. 64.—Corte transversal de la parte superficial de un ramo de *Eucalyptus globulus*, mostrando la secreción cerosa de las células epidérmicas.

En la mineralización *granulosa*, se amasa en forma de granillos la sustancia impregnante, y convierte en opaca la transparencia de la celulosa. Este modo de incrustación es característico en la calcificación de la *Corallina officinalis*, de aspecto arborescente. El contacto con un ácido provoca la efervescencia del carbonato de cal y reaparece la celulosa con sus caracteres.

Y por último, en la mineralización *cristalina* se depositan indistintamente acá y allá verdaderos cristales. Unas veces son de *oxalato de cal*, reconocibles por ser insolubles en los ácidos: se encuentran en gran número debajo de la cutícula (epidermis de la hoja del *Mesembryanthemum stramineum*, fig. 66; hongos, fig. 67), y en otras plantas crasas; otras veces la incrustación es de *carbonato de cal*, materia soluble en

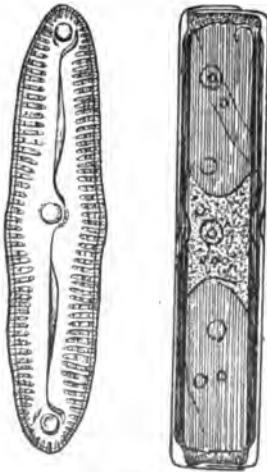


Fig. 65.—Cubiertas silíceas de la *Pinularia viridis* (diatomea), á la izquierda vista de perfil, á la derecha de frente.

el ácido clorhídrico, con efervescencia, recubriendo la masa piriforme y celulósica de los *cistolitos* (epidermis del *Ficus elastica*, etc., figs. 68 y 69). Recordaremos que todo cistolito consiste en un cordón celulósico fijo en un punto de la pared



Fig. 66.—Epidermis de la hoja del *Mesembryanthemum stramineum*.—*a*, cutícula; *b*, capa cuticular; *c*, capa celulósica sembrada de cristales de oxalato de cal; *d*, cavidad celular.

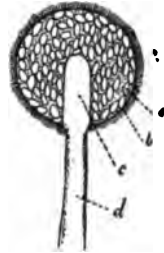


Fig. 67.—Cristales finísimos de oxalato de cal recubriendo la superficie del esporangio de un *Mucor*.

celular epidérmica, que se dilata después en un cuerpo ovoideo de superficie mamelonada, en el espesor del cual se depositan pequeñas agujas cristalinas en grupos mezclados de carbonato de cal.

**Coloración.**—La membrana celular, finalmente, se impregna también de materias colorantes poco conocidas químicamente, que proporcionan tintes diversos á las cortezas y maderas.

Las materias colorantes de las cortezas llamadas *phlobaphenas*, son compuestos

ternarios vecinos de las resinas, insolubles en el agua y solubles en el alcohol y los álcalis. Una de las más importantes es la de color rojo parduzco, de composición ( $C_{10} H_{10} O_8$ ), que colorea á las cortezas del pino, roble, abedul, etc.

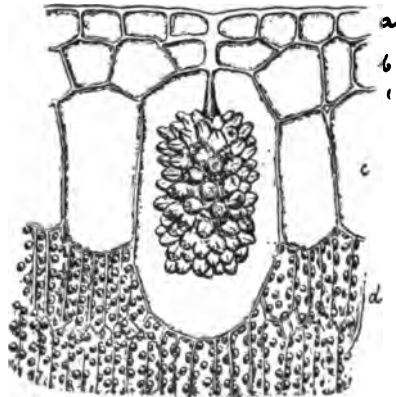


Fig. 68.—Cistolitos incrustados de carbonato de cal del *Ficus elastica*.—*a*, *b* y *c*, capas epidérmicas; *d*, parenquima verde en empalizada.

Pero donde principalmente se desarrollan estas impregnaciones colorantes es en la madera de algunos árboles de las

regiones cálidas, hasta el punto de ser empleadas en ebanistería por sus bellas coloraciones. Entre ellas recordamos la madera de *Pernambuco* (diversas especies del género *Cæsalpinia*) de color rojo amarillento, debido á la *brasilina* ( $C_{16} H_{14} O_5$ ) que se transforma en rojo carmín por la acción de un álcali; la madera de *Campeche* (*Hæmatoxylon campechianum*) de color rojo sombra debido á la *hematoxylina* ( $C_{16} H_{14} O_6$ ) que se transforma en violeta negruzco por el amoniaco; la madera de Sántalo (*Pterocarpus santalinus*), coloreada en rojo por la *santalina* ( $C_{15} H_{14} O_8$ ); la madera amarilla (*Morus tinctoria*) teñida por un tanino, ácido moritánico y la *morina* ( $C_{12} H_{10} O_6$ ), etc.

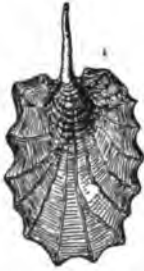


Fig. 69. — El mismo  
cistolito decalcificado.



## SECCION SEGUNDA

### PROTOPLASMA

#### CAPÍTULO PRIMERO

##### ESTRUCTURA, PROPIEDADES Y DERIVADOS DEL PROTOPLASMA

**Etimología y definición.**—El protoplasma, palabra de origen griego que significa *primer producto ó labor*, alude á la materia en que la vida se inicia en los primeros albores de la creación; actualmente se refiere á la «substancia primordial, viva y fundamental de los seres organizados,» ó sea al «agente de las manifestaciones vitales de la célula,» según Claudio Bernard, y también á la «base física de la vida,» en opinión de Huxley.

Dujardin, estudiando en 1835 los animales inferiores (*Foramintferos, Rizopodos*), describió con el nombre de *sarcoda* (protoplasma de hoy) la especie de viscosidad, viva, diáfana, elástica y contráctil, que constituye la parte esencial de los seres. Sin embargo, el primero que empleó la palabra *protoplasma* para indicar la parte viva de los embriones en los animales y vegetales, fué Purkinje en 1840, y poco tiempo después, ó sea en 1846, es aceptado dicho término por Hugo Mohl para indicar la materia fundamental de los seres vivos.

**Origen.**—Todo protoplasma procede de otro preexistente, no habiendo hecho alguno que después de las concluyentes investigaciones de Pasteur, sirva de base para admitir la generación espontánea. Querer averiguar el origen del primer protoplasma, equivale á inquirir el origen de la vida; mas como este asunto quedó tratado en la Introducción (pág. 4), no volveremos á repetir lo dicho entonces.

**Importancia.**—De los cuatro elementos principales (plasmios, membrana, núcleo y protoplasma), que forman parte de la célula, el protoplasma es el más fundamental.

En efecto: ya veremos más adelante que los *plasmitos* son corpúsculos, condensados y diminutos, procedentes del protoplasma, en los cuales se localizan funciones especiales que desempeñan, y como, por otra parte, encontramos células (*Mucoríneas*) que viven y se multiplican sin dichos derivados citoplásmicos, bien puede asegurarse que no es absolutamente necesaria su presencia en la vida de ciertos seres vegetales, y, por tanto, que carecen de virtualidad esencial.

Si á la *membrana celular* nos referimos, bastará recordar que dicha cubierta, defensiva y protectora del protoplasma, ha sido originada por éste, á consecuencia de una secreción ó transformación de la zona periférica protoplásmica, llamada dermatoplasma (pág. 33).

Y finalmente, si en los *núcleos* nos fijamos, á pesar de estar convencidos y de ser notorio hoy día de que tan singulares elementos celulares no desmerecen en importancia frente á la substancia protoplásmica, en vista de los diversos procesos reproductores y del poderoso auxilio que prestan al protoplasma en el crecimiento celular, sin embargo, aun haciendo caso omiso del sólido argumento según el cual el núcleo primitivo hubo de ser originado por el protoplasma primordial, de ser cierta la división del trabajo fisiológico y la diferenciación respectiva somática y reproductora, siempre resulta que el protoplasma, en todas sus manifestaciones metabólicas, constantemente conserva su autonomía é individualidad, mientras que el núcleo la pierde en ciertas fases de su evolución. Para demostrarlo, consideremos que el núcleo, en sus divisiones carioquinéticas, cambia por completo de estructura, y como se difunde su masa en el citoplasma general, no quedan más vestigios de su existencia que un número variable de fragmentos cromáticos (según las especies), los cuales, á fuerza de dividirse por sucesivas segmentaciones, terminarían por desaparecer de no ser reforzados por el protoplasma general. De donde resulta una de dos: ó desaparece el núcleo á consecuencia de tantas biparticiones sucesivas, ó es alimentado constantemente por el protoplasma celular para adquirir gradualmente el volumen que tenía. Si además tenemos en cuenta que el núcleo en ciertas células (*Bacteriaceas*) está esparcido en la masa protoplásmica en fragmentos imperceptibles únicamente delatados por reactivos especiales, lo cual hizo sospechar á al-

gunos naturalistas que se trataba de células sin núcleo (*citodos de Hæckel*), se puede sostener, en conclusión, que el protoplasma es el medio ambiente en el cual y á expensas del cual se desenvuelven los núcleos, y es, por tanto, el elemento más fundamental de la célula.

Ahora bien: aun cuando el protoplasma es el elemento más fundamental, sin embargo, su existencia con el núcleo es indispensable para la vida de la célula, según los últimos experimentos de merotomía celular. Constituyen, por tanto, ambos elementos una especie de simbiosis que en estrecho lazo caracterizan la *individualidad biológica elemental*, que Bónnier da el nombre de *energida* usado con anterioridad por Sachs.

**Estructura.**—La estructura del protoplasma ha preocupado á los citólogos de todas las épocas, y gracias á los objetivos de inmersión, como á los reactivos fijadores, se ha llegado á delatar con gran claridad la bella arquitectura que le adorna.

Los primeros naturalistas sólo se cuidaron de hacer observaciones sin unificar los resultados; mas los histólogos posteriores generalizaron sus investigaciones microscópicas, emitiendo teorías que importa exponer rápidamente.

Maggi (1867), Arndt, H. Martin, y sobre todo Altmann, ven al protoplasma formado de granulaciones muy pequeñas, bien aisladas, bien agrupadas en líneas ó en masas más ó menos redondeadas. Las granulaciones (gránulos) están sumergidas en una substancia homogénea (substancia ó materia intergranular). Tal es la *teoría granular*.

Flemming (1878), y con él Pflüger, Ballowitz, Schneider, consideran al protoplasma constituido por filamentos aislados y numerosos en derredor del núcleo. Estos filamentos (*mitom*, masa filar) están sumergidos en una masa amorfa (*paramitom*, masa interfilar). Este es el fundamento de la *teoría filar*.

Heitzmann (1873), van Beneden, Carnoy y la Escuela de Lovaina, admiten que el protoplasma está formado de filamentos anastomosados en red (*reticulum*, spongioplasma), sumergidos en una substancia hialina (hialoplasma, *enquilema*), originando con esta explicación la *teoría reticular*.

Y, por último, sirviendo de base los trabajos y estudios de Rouget, fué desarrollada por Kunster (1882) y por Butschli (1902) otra teoría según la cual el protoplasma es comparable á la espuma de jabón, por hallarse formado de delicadísimas laminillas dispuestas en forma de tabiques, los cuales están separados unos de otros por alveolos re-

llenos de una substancia más ó menos líquida. En esta explicación, última de las ideadas hasta ahora por los histólogos, se funda la *teoría alveolar*.

Cada una de estas teorías, consecuencia de observaciones pacienzudas, ha servido de base, según los citólogos, para la generalización de la estructura del protoplasma en todos los seres organizados. Mas teniendo en cuenta que ciertas estructuras han sido delatadas por fijadores especiales según las células consideradas, siendo el más comunmente empleado el licor de Flemming, y habiendo observado que el protoplasma no siempre posee idéntica estructura, pues en el *Axolote* (1) mismo sucede que los hematíes tienen estructura granular (Henneguy), el cartilago de la cola estructura filar y la epidermis estructura alveolar, se ha venido á deducir en definitiva que existen en los seres pluricelulares series de estructuras protoplásmicas subordinadas cada una á la fisiología particular de la asociación ó confederación celular respectiva, del mismo modo que la estructura del protoplasma varía en la misma célula según el curso de su vida (Kœlliker), para adaptarse según los casos á funciones determinadas.

Examinada esta materia fundamental y viva en el microscopio, á través de un objetivo de gran apertura numérica, se notan un continente y contenido esencialmente protoplásmicos, físicamente distintos, á saber: una capa periférica ó continente, delgada é hialina, muy refringente y compacta, llamada *periplasma*, que envuelve á una porción ó contenido más obscuro y sembrado de granulaciones, denominado *citoplasma*.

El *periplasma* es transparente, duro y resistente en relación al citoplasma, de naturaleza albuminoidea, y, por consiguiente, con las reacciones propias del protoplasma en general.

Dicha capa periférica está constituida á su vez por otras dos porciones más ó menos concéntricas, una externa y otra interna. La *externa* ó *dermatoplasma* está sembrada de granulaciones, denominadas *plasomas*, en forma de bastoncitos ó prismas yuxtapuestos que, convertidos en *dermatosomas* ó partículas celulósicas, contribuyen, al ser arrojadas al exterior, á la formación y consiguiente espesamiento de la membrana celular. La *interna* ó *tonoplasma*, y antigua *capa limitante*, *utrículo* ó *membrana primordial* de Hugo Mohl, es

(1) Con este nombre, de origen mejicano, se designa el estado larvario (*Sivodon pisciformis*, Shaw.), correspondiente al anfibio percunibranquio denominado *Amblystoma mexicanum*, Cope.

una delgada banda brillante, exenta de granulaciones ó plasomas, en inmediato contacto con el citoplasma, y con propiedades físicas y funcionales tan especiales, que puede decirse es la porción que regula (lo mismo que la capa tonoplásmica que limita las vacuolas del jugo celular) el mutuo cambio entre el exterior y el interior, hasta el punto de impedir, si preciso fuera, la entrada ó salida de ciertas sustancias en el citoplasma.

El *citoplasma* ó endoplasma, que constituye por sí casi todo el protoplasma, está, como hemos dicho, circunscrito por la simplicísima capa dermatoplásmica.

Esta parte esencialísima de la célula está á su vez formada por una red fibrilar y viscosa, sumamente fina y tenue, llamada *retículo* ó parte filar del citoplasma, y de un líquido más fluido que el reticular, contenido entre las mallas de aquél, denominado *enquilema*, en el cual se hallan englobadas granulaciones muy finas ó *microsomas*, considerados como elementos vivos primordiales de la célula (fig. 70).

En el retículo se supone radica la *irritabilidad* del citoplasma, así como en el enquilema los fenómenos químicos *nutritivos*; y á consecuencia del trabajo vital de ambos factores, en el seno del citoplasma aparecen multitud de partículas organizadas (plasmitos) y no organizadas (reservas alimenticias).

**Propiedades físicas.**—El citoplasma es una substancia blanda ó mole, viscosa, tenaz, plástica, extensible, pero no elástica, insoluble en el agua y más refringente que ésta. Su refringencia y densidad disminuyen generalmente de la periferia al centro á partir del tonoplasma, que es la zona limitante más dura y resistente que la envuelve.

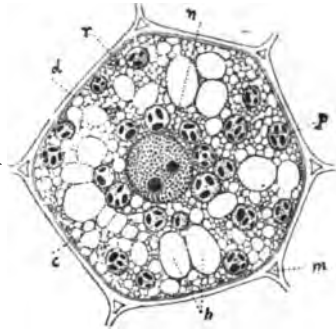


Fig. 70.— Una de las células del tallo joven del *Lupinus albus*.—*c*, membrana; *d*, dermatoplasma; *r*, red protoplásmica; *p*, plasmitos verdes con almidón; *b*, hidroplasmitos ó vacuolas de jugo celular; *n*, núcleo con dos nucleolos; *m*, meatus.

Y es tan esencial esta capa tonoplásmica, que no es posible la vida del citoplasma sin la existencia de aquélla. Para demostrarlo, basta romper ú horadar en las células de una *Vaucheria* ó de un *Mucor*, y en el seno del agua, dicha zona limi-

tante, para que saliendo acto continuo diferentes porciones del citoplasma, se reúnan y contraigan aisladamente, formando globulitos más ó menos esféricos, cada uno de los cuales reconstruye al poco tiempo y superficialmente la capa hialina, tonoplásmica, protectora y osmótico-reguladora del medio ambiente (fig. 71).

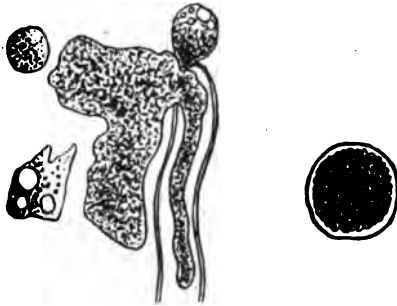


Fig. 71.—Protoplasma derramado de un filamento de *Vaucheria terrestris*, separándose en gotas redondeadas. A la derecha una de las masas esféricas revestida de membrana hialina.

No debe confundirse esta delicadísima zona tonoplásmica envolvente, común á animales y vegetales, con la membrana celular ó capa cel-

lulósica de los vegetales, pues ésta, como es sabido, es un derivado de segundo orden del citoplasma, resultante de la transformación ulterior de su porción externa dermatoplásmica.

El citoplasma es muy permeable al agua. Esta propiedad, consecuencia de la facilidad del tonoplasma para dejarse atravesar por el agua, puede llegar hasta el punto de que la masa citoplásmica se exceda del límite de saturación, en cuyo caso se separan del seno protoplásmico bolsitas más ó menos esféricas, denominadas *vacuolas*, que rellenas de dicho líquido y limitadas del mismo modo de nuevas cubiertas tonoplásmicas, son las mediadoras y protectoras del citoplasma en sus relaciones con el exterior.

Merced á esta fácil permeabilidad del citoplasma y principalmente del tonoplasma por el agua, se puede voluntariamente aumentar ó disminuir la consistencia del protoplasma sin más que disminuir ó aumentar la proporción de agua embebida. Así, por ejemplo, si queremos extraer el agua del protoplasma,

sumergiremos la célula en un medio ávido de dicho líquido; como en la glicerina, ó en disoluciones salinas ó azucaradas (fig. 72), y observaremos que el volumen protoplásmico disminuye al mismo tiempo que su consistencia aumenta. Este fenómeno de contracción, mediante el cual la masa protoplásmica se separa de la membrana para concentrarse próximamente en el centro de la célula, recibe el nombre de *plasmolisis*. Mas si en estas condiciones sustituimos la glicerina ó la disolución que se haya elegido anteriormente por el agua pura, el citoplasma, absorbiendo lentamente este elemento acuoso, recobra el tamaño que tenía, y aumentando de volumen y disminuyendo consecuentemente de consistencia, da lugar al fenómeno fisiológico denominado *turgescencia* celular.

Pero en contra de esta absorción máxima del protoplasma por el agua, la capa tonoplásmica reguladora de esta absorción limita su permeabilidad muy diferentemen-

te según las sustancias que el agua lleve en disolución, hasta el punto de ser completamente impermeable para muchas de ellas. Así sucede que el tonoplasma facilita el paso á ciertas sustancias incoloras (ácidos, álcalis, carbonatos alcalinos, etcétera) ó coloreadas (fuchsina, eosina, pardo de anilina y azul de quinoleína), siempre que se hallen muy diluídas en agua, y, en cambio, para otras es generalmente impermeable, ya sean incoloras (azúcar, sal común, salitre y sales neutras), ó colorantes (zaranina, hematoxilina, etc.)

Esta impermeabilidad se pone de manifiesto sin más que sumergir una célula con protoplasma previamente contraído en una disolución de cualquiera de estas sustancias, y observaremos que aquella no recibe más que agua. Y si estas mismas

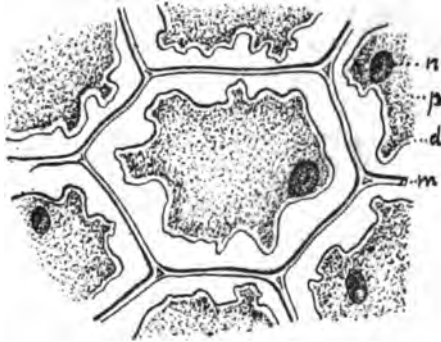


Fig. 72.—Protoplasmas celulares contraídos por el agua azucarada.— *m*, membrana; *n*, núcleo; *p*, protoplasma; *d*, dermatoplasma.

substancias las suponemos disueltas en el jugo celular de las vacuolas protoplásmicas, del mismo modo sólo el agua saldrá al exterior, atraída por cualquier cuerpo ávido de ella y que en derredor de la célula se coloque, como la glicerina, agua azucarada, etc.

Este fenómeno es fácilmente apreciable cuando está coloreado el líquido de las vacuolas. En efecto: observando al microscopio una célula de un pétalo de violeta, distinguiremos perfectamente el protoplasma incoloro incluido al parecer en un baño de jugo celular azulado, sin que pueda la substancia colorante penetrar en la masa protoplásmica por impedirlo el tonoplasma vacuolar. Si en estas condiciones efectuamos la contracción del protoplasma por los medios consabidos, se advertirá que el agua, disolvente de la substancia colorante vacuolar, sale afuera, atravesando el tonoplasma, quedando sólo el color concentrado de las vacuolas contraídas.

Por último, siendo el protoplasma vivo, la capa tonoplásmica es elástica y ofrece además la notable propiedad de permitir el paso ó de ser permeable en cierto modo á determinados cuerpos sólidos, como granos de almidón, bacterias, etc. (Van Tieghem), siempre que se hallen solicitados por alguna presión; pero una vez muerto dicho protoplasma, no sólo pierde esta propiedad, sino también la de extensibilidad, tornándose en *rígida y frágil* en este caso la capa tonoplásmica.

Ahora bien: si por cualquier concepto, y después de muerto el protoplasma, conserva la capa tonoplásmica dicha rigidez sin fisura ni rotura alguna, continúa el tonoplasma con las mismas propiedades osmóticas que si estuviera vivo; pero una vez roto por cualquier motivo, penetran las substancias incoloras ó coloreadas por la ranura ó hendidura ocasionada, é impregnan acto continuo el protoplasma.

En suma, la diferencia física entre el protoplasma vivo y muerto, no consiste, como antiguamente se creía, en el cambio de substancias, sino respectivamente en la *extensibilidad ó rigidez* de su capa tonoplásmica (1).

**Propiedades químicas.**—De un modo general podemos decir que el protoplasma está constituido esencialmente por mate-

(1) Pfeffer, *Osmotische untersuchungen*, 1877, y *Pflanzenphysiologie*, I, págs. 31 y 50, 1881.



rias albuminoides poco fosforadas, de *reacción alcalina* ó neutra cuando está vivo, por lo cual se supone que encierra una base incolora que puede combinarse con ciertos colores ácidos de anilina, y que generalmente se convierte en *ácida* después de la muerte, lo mismo que se torna en insoluble la miosina disuelta en el plasma muscular, produciendo la rigidez cadavérica. Contiene en su seno vacuolas con líquido denominado jugo celular, de reacción ácida, y además ciertas partículas, unas organizadas como los plasmitos, y otras no organizadas, constituyendo reservas alimenticias en forma de granos de almidón, gotitas de grasa, cristales albuminoides.

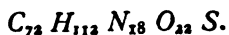
Es difícil estudiar las propiedades químicas del protoplasma vivo, por la sencilla razón de que la mayor parte de los reactivos que se pueden emplear lo alteran y lo matan; pero una vez muerto, se ha conseguido determinar aproximadamente su compleja composición.

a. **Composición.**—Es, como hemos dicho, tan compleja y diferente á causa de los fenómenos asimilativos y desasimilativos, que las investigaciones pacienzudas y numerosas en los últimos años han descubierto en el protoplasma, en primer lugar sustancias albuminoides, y en mucha menos cantidad materias fosforadas, hidratos de carbono, fermentos, agua de constitución y de imbibición y elementos minerales.

Decimos que el carácter principal del protoplasma corresponde á una sustancia albuminoide, en vista de que el análisis cualitativo enumera los elementos químicos siguientes: C. H. O. N. S., y además el cuantitativo, de acuerdo con la interpretación de las investigaciones analíticas de Schützenberger, acredita que su molécula pertenece á la fórmula



ó refiriéndola con Lieberkühn á un átomo de azufre



A los albuminoides pertenecen principalmente la *albumina* y *fibrina vegetales* entre los de evolución progresiva, así como las *peptonas* de evolución regresiva (1).

(1) Para la clasificación y descripción de los albuminoides, recomendamos la obra de *Química biológica* del Dr. Carracido.

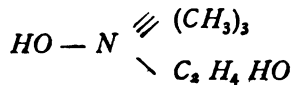
Schwartz (1) designa con el nombre de *plastina* la materia albuminoide principal del protoplasma, cuya fórmula, según Van Tieghem, se aproxima mucho á la de la fibrina. La propiedad característica de este albuminoide es resistir á la acción de la *pepsina* (extraída del jugo gástrico) y á la acción de la *tripsina* (extraída del jugo pancreático); de donde resulta que las sustancias albuminoides que forman parte de la sustancia viva, son inatacables por los jugos digestivos, mientras que aquéllas que constituyen sustancias en reserva y que se hallan almacenadas en las semillas (cristaloides aleúricos), son, por el contrario, atacables por las pepsinas.

Por tanto, las sustancias nitrogenadas digestibles no forman parte del protoplasma activo.

Entre los albuminoides fosforados de las células vegetales, se consideran como más importantes los *núcleo-albuminoides* y las *lecitinas*.

A los *núcleo-albuminoides* corresponden las *pseudo-núcleo-albúminas*, como la caseína vegetal y las *nucleínas* de los núcleos celulares. Estas nucleínas, por su carácter ácido, se disuelven en líquidos alcalinos y se precipitan en estas disoluciones por el ácido acético muy diluído. La *cromatina* de los histólogos es probablemente, según los químicos, el producto ácido del desdoblamiento de las *núcleo-albúminas*.

Las *lecitinas*, relativamente abundantes en las células donde la vida es más activa, son asimiladas á las grasas, no sólo por sus caracteres físicos, sino también por su constitución química. Son éteres de la glicerina formados por ácidos grasos y por el fosfórico en combinación con la base



denominada *colina*.

Por último, según queda dicho, intervienen también en el protoplasma otros dos factores esenciales: el *agua de organización* ó *de constitución*, que contribuye á la viscosidad que se manifiesta en el protoplasma, y el *agua de imbibición*, que

(1) Frank Schwartz, *Die morphologische und chemische Zusammensetzung des Protoplasmas*. (*Beiträge zur Biologie der Pflanzen*, tomo V. 1887.)

desempeña el doble papel de alimento y vehículo de las sales orgánicas é inorgánicas (nitratos, fosfatos, sulfatos, carbonatos alcalinos, etc.) que osmóticamente recibe del mundo exterior. Y como á expensas de estos materiales y de las radiaciones absorbidas fabrica el protoplasma múltiples productos que serán estudiados posteriormente, todos ellos, en una palabra, integran la substancia fundamental de la célula.

En suma, el protoplasma es una mezcla de substancias albuminoides no fosforadas y fosforadas, agua, materias minerales, productos orgánicos no nitrogenados (azúcar, grasas, almidón, etc.), y otros nitrogenados que, con el nombre de diastasas, desempeñan el papel fisiológico de mayor importancia en las reacciones químicas del organismo.

**az. Reacciones.**—El protoplasma se coagula por el calor y por los reactivos, como el alcohol, éter, ácidos diluidos (pícrico, ósmico y crómico) y bicromatos alcalinos. Se disuelve en el ácido acético cristalizabile, en el amoniaco y la potasa, y es destruído por las lejías de hipoclorito de sodio, de potasio y de calcio.

Se colorea en *amarillo* por el yodo, en *rosa* por el ácido sulfúrico concentrado en presencia del azúcar, en *rojo* por el nitrato ácido de mercurio, en *violeta* por la acción sucesiva del sulfato de cobre con amoniaco ó potasa concentrada, etc.

Los colores de anilina, como el verde de yodo, azul de metileno y el pardo de Bismarck, tiñen al protoplasma, difiriendo las reacciones según el origen de los productos; pero es preciso, para que la coloración tenga lugar, que el protoplasma esté muerto y el tonoplasma desgarrado, pues en condiciones normales de organización, la capa tonoplásmica impide que toda substancia colorante penetre en la masa del protoplasma.

Sin embargo, tanto el citoplasma como el núcleo son teñidos, sin producir su muerte, por medio de disoluciones acuosas muy débiles (0,001 á 0,002 por 100) de violeta de metilo, fuchsina, eosina, pardo de anilina, cianina ó azul de quinoleína, etc., empleando los métodos de coloración *intra vitam* (1), y gracias á esta particularidad, los histólogos han conseguido penetrar en el estudio de la singularísima estruc-

(1) Para más detalles, véase la obra del Dr. A. Zimmermann, *Die botanische Mikrotechnik*, capítulo «Coloración *intra vitam*.»

tura del protoplasma, así como en los fenómenos funcionales de conjugación y carioquinesis. Se puede también seguir con este objeto el ingeniosísimo método ideado por Matruchot (1), que consiste en cultivar simultáneamente el hongo, cuyo protoplasma deseamos colorear sin matarle, y una bacteria cromógena. En estas condiciones, el protoplasma incoloro del hongo se impregna con la mayor naturalidad de la materia colorante que la bacteria excreta ó produce en derredor de sí.

Algunos productos colorantes son policrómicos, es decir, tiñen, además del protoplasma, á otros cuerpos intracelulares con distinta coloración. Así sucede que el violeta de anilina colorea de violeta azulado al protoplasma, y de rojo al núcleo; y el violeta de metilo tiñe de azul la membrana, de rojo al almidón y de violeta al protoplasma.

**xxx. Inestabilidad.**—Este carácter es consecuencia de las infinitas variaciones que puede experimentar la agrupación atómica de la substancia albuminoidea bajo la influencia de la vida.

Dicha agrupación, que sin punto de reposo se destruye y reconstruye en el seno de la actividad vital, tiene por causas, según Carracido: 1.º, el menor peso atómico de sus elementos constitutivos, y, por tanto, capaces de constituir generalmente combinaciones solubles, facilitando los cambios con el exterior; 2.º, ser dichos elementos los más aptos para formar moléculas constituídas por gran número de átomos, y, por consiguiente, agrupaciones moleculares inestables que con facilidad se transforman por la más leve excitación que sobre ellos incide; y 3.º, tener un peso específico bastante elevado para que, acumulando mayores cantidades de energía, formen una especie de explosivos mansos, como conviene á la vida que utiliza incesantemente la energía potencial de la materia acumulada en los organismos para la producción incesante del trabajo fisiológico.

**Propiedades fisiológicas.**—El protoplasma crece y se nutre; es, por consiguiente, la materia viva que, destruyéndose y re-

(1) Matruchot, *Sur une structure particulière du protoplasma chez une Mucorinée et sur une propriété générale des pigments bactériens et fongiques.* (*Revue générale de Botanique*, tomo XII, 1900.)

novándose constantemente, regula todos los cambios posibles con el mundo que le rodea, y forma un sinnúmero de sustancias en el interior (almidón, grasa, etc.) M. Pasteur lo ha demostrado cultivando en un líquido apropiado una pequeña cantidad de *Micrococcus aceti* (fermento del vinagre) y recogiendo un peso considerable de dicha bacteriácea.

Sin embargo, la propiedad fisiológica que más refleja la vida de los seres organizados, y, por tanto, la del protoplasma, es indudablemente el movimiento.

**a. Movimientos.**—Uno de los movimientos más congénitos que caracterizan á la masa protoplásmica ó materia viva, es el de *fluctuación*, titilación ó vibración continua de sus partes. Este movimiento, que de un modo ondulatorio se hace ostensible principalmente en la superficie del conjunto, reconoce por causa, según algunos, la inestabilidad que simboliza á la sustancia esencialmente albuminoidea, inestabilidad que depende á su vez, para explicar el tráfico nutritivo, de las múltiples combinaciones y variaciones á que se presta la excepcionalmente enorme magnitud molecular de la agrupación atómica albuminoide.

Mas no puede atribuirse á la inestabilidad del protoplasma la razón del movimiento, cuando es bien sabido que la materia albuminoidea muerta goza de la misma propiedad y no se mueve. Podrá objetarse diciendo que la inestabilidad de la materia viva es muy superior á la de la muerta; pero entonces ocurre preguntar: ¿cuál es la causa de este exceso? ¿Vamos á explicar racionalmente con este exceso la suavidad de las circunstancias en que el organismo efectúa las reacciones consiguientes á sus cambios materiales, frente á los poderosos medios que es necesario emplear en los laboratorios para observar algunos cuerpos orgánicos *in vitro*? ¿Vamos del mismo modo con aquella causa á darnos cuenta de la acción de los fermentos solubles contenidos en las células y por ellas elaborados, supliendo con su energía, para que la reacción se lleve á cabo, la insuficiencia de las circunstancias físicas? ¿Vamos á creer que ese exceso de inestabilidad sea la causa conservadora en el protoplasma vivo de su reacción generalmente alcalina ó neutra, en contra de la acidez manifestada por el protoplasma muerto? ¿Vamos á suponer, finalmente, que el conocido agente sea el móvil de la continua descomposición de la

materia viva y de su antagonica reconstrucción, mantenedoras de los trabajos peculiares al metabolismo celular? Ciertamente que no. De consiguiente, en vista de las consideraciones que anteceden y de la dificultad que reina en la ciencia en la explicación de la causa de los fenómenos vitales, por ser insuficientes los agentes físicos y químicos, bien puede asegurarse que la inestabilidad en la materia viva, así como su metabolismo celular, son efectos de una *fuera imprescindible* en la cual radica y descansa, no sólo el movimiento, sino todo el funcionamiento de los seres organizados.

En el protoplasma se distinguen además otras dos clases de movimientos más perceptibles que el anterior. Los unos son *interiores*, verdaderas corrientes intracelulares, por medio de las cuales la substancia viva se pone en comunicación con el medio exterior y establece el equilibrio osmótico necesario á la vida de la célula. Los otros, *exteriores*, verdaderos actos de locomoción ó cambios de lugar de toda la masa protoplásmica.

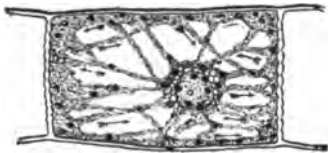


Fig. 73.—Célula de un pelo de la calabaza: las flechas indican el sentido del movimiento protoplásmico.

I. Los primeros se observan muy bien, fijándonos con singular atención en uno de los numerosos corpúsculos que forman parte de la masa protoplásmica (fig. 73). La aceleración del movimiento, y por consiguiente el camino recorrido, será tanto mayor cuanto más favorable sea la temperatura á que esté sometida la célula. De igual modo los corpúsculos clorofilicos, así como el núcleo ó corpúsculo más diferenciado y neto de las células, pueden servirnos como elementos de mira en algunos casos para observar bien el fenómeno (pelos radicales del *Hydrocaris Morsus-ranæ*, etc.)

Dichos movimientos protoplásmicos interiores pueden ser *rectilíneos*, ascendentes y descendentes y más ó menos paralelos al eje mayor de la célula, como se observa en los pelos foliares (*Urtica urens*), peciolares (*Chelidonium majus*) (figura 74), estaminales (*Tradescantia virginica*), calicinales (*Althæa rosea*, etc.); y *circulatorios* (ciclosis), ó sea en derredor de la superficie interna de la membrana celular; sirvan de

ejemplo las células alargadas del nervio medio de las hojas de la *Elodea canadensis*, las células de las Caráceas y las células verdes de las hojas de la *Vallisneria* y *Sagittaria*.

Es muy conveniente, para la observación más clara del fenómeno, valerse de células relativamente gigantes (pelos de ciertas plantas); puesto que en las pequeñísimas (*Bacterias*, *Protococcus*, etc.), tanto la excesiva cantidad de protoplasma contenido, como el aislamiento ó disociación de las células, imposibilita en el primer caso se aprecie con claridad el movimiento interior del protoplasma, y en el segundo contribuye á que toda la masa se halle animada de movimientos rápidos de traslación.

Se hace necesario, además, que el protoplasma de las células objeto de nuestras investigaciones microscópicas, haya adquirido en su desarrollo el aspecto entrecalado, es decir, haya formado grandes vacuolas rellenas de jugo celular (hialoplasmas), separadas por cordones, bridas ó filetes protoplásmicos que se dirigen desde unos puntos á otros cruzando el interior de la célula.

En las masas protoplásmicas encerradas

por membrana, que en los vegetales son dos (celulósica y albuminóide), se pueden percibir dos clases de movimientos diversos. Por un lado, los cordones protoplásmicos se adelgazan y acaban por desaparecer, mientras otros más delgados se acrecentan por aflujo del protoplasma; de algunos brotan nuevas bridas que se ramifican, y, por fin, el protoplasma en conjunto se concentra en ciertas y determinadas partes de la célula ó cambia de forma en el interior de la misma. De otro, los granillos protoplásmicos ó microsomas, con los núcleos y los plasmitos, se mueven y corren á lo largo de las bandas ó cordones y capa parietal protoplásmicas; efectuándose de ordinario dos corrientes de microsomas sobre los bordes de cada filete protoplásmico en sentido inverso, con una línea de reposo en el medio (movimientos rectilíneos). Más tarde, cuando los hidroplasmitos, por su fusión, han formado el gran hidroplasmito ó vacuola central, los movimientos se localizan en la capa parietal protoplásmica, observándose en ella varias corrientes parietales á la mayor longitud de la célula y dirigidas todas las de un lado en un sentido, mientras que las de otro en sentido contrario, ó bien alternativamente en un sentido y en otro (movimientos circulatorios). Estos movimientos circulatorios fueron



Fig. 74.—Célula del pelo del *Cbelidonium majus*: las flechas indican la dirección del movimiento.

conceptuados desde muy antiguo como originales y excepcionales en algunas Caráceas con el nombre de *ciclosis*.

Gracias á estos movimientos, las diversas partículas del protoplasma se transportan sin cesar de un extremo á otro con una velocidad que llega y pasa de un milímetro por minuto, según Van Tieghem, y facilitan el equilibrio osmótico con el medio exterior.

II. Los movimientos *exteriores* ó de locomoción protoplásmica, pueden á su vez ser *amiboideos* ó de *reptación*, y *ciliares* ó *vibrátiles*.

Citaremos entre los primeros el correspondiente al *Æthaliium septicum*, que vive sobre el tan de los curtidores. Este



Fig. 75.—Anterozoides de *Polytrichum* (Musgo).—c, célula madre con el anterozoide encerrado; a, anterozoides sueltos.

hongo mixomiceto, cuyo plasmodio forma láminas amarillas y reticuladas tan anchas como la palma de la mano, cuando la temperatura y la humedad son favorables, se observa que en el interior de su masa y en dos puntos opuestos de una malla cualquiera, la substancia protoplásmica se acumula y forma dos protuberancias que, como son retráctiles, al encontrarse la una con la otra forma una nueva banda ó cordón plásmico; y como el fenómeno se produce análogamente en otras muchas mallas del plasmodio, el resultado final es originar una de-

formación en todas ellas que repercute en el contorno general de la masa. Asimismo, la porción periférica del plasmodio avanza en ciertos puntos y se retrae en otros, y el cuerpo entero ejecuta de este modo un movimiento lento de traslación que, como se asemeja al de los osídios y al de las amibas (Protozoarios unicelulares), lleva el nombre de *reptación* y *amiboideo* respectivamente.

En otros vegetales (*Oscilarias*, *Bacterias*, *Desmidiaceas* y *Diatomaceas*), el movimiento amiboideo de los protoplasmas respectivos es brusco, y como al contraerse rápidamente impulsan á las membranas celulósicas las algas referidas, se mueven á través del líquido ó sobre la superficie de los cuer-



pos recorriendo grandes espacios. Estos movimientos se denominan de contractilidad general.

Los movimientos *ciliares ó vibrátiles* son consecuencia de los filamentos ó

pestañas delicadísimas y contráctiles, que el protoplasma emite á través de las cubiertas celulósicas ó tonoplásmicas, las que, sirviendo de remos ó de timón en unos casos ó

de ambas cosas á la vez en otros, contribuyen con el protoplasma general á que los seres se trasladen fácilmente de unos puntos á otros. Como ejemplos citaremos los gametos machos (anterozoides de Musgos) (figs. 75 y 76) y helechos (fig. 77), game-

tos masculinos y femeninos (*Monostroma*) (figura 78) y los esporas asexuales movi-

bles llamados zoosporas (*Vaucheria*, etc.) (fig. 79).

Finalmente, en algunos vegetales (*Euglenas*) se observan velocidades mucho mayores á consecuencia de que á la contracción general de las masas protoplásmicas y movimientos

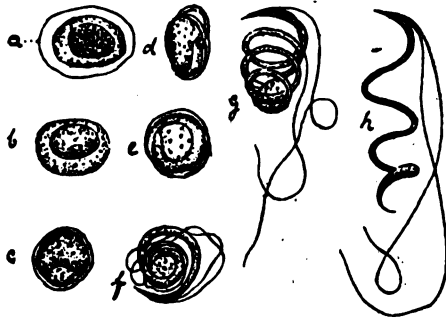


Fig. 76.—Anterozoides de la *Pellia epiphylla* (Hepática).—*a*, célula macho con su núcleo; *b*, idem id. con el núcleo aproximado á la superficie del protoplasma; *c*, núcleo arqueado; *d*, *e*, *f*, desarrollos sucesivos del cuerpo y cirros del anterozoide; *g*, anterozoide con vesícula inerte; *h*, anterozoide libre.



Fig. 77.—Anterozoide de la *Gymnogramma sulphurea*.—*a*, célula madre del anterozoide con el corpúsculo centrosómico *i*, el núcleo *n* y el protoplasma *p*; *b* y *c*, células con el corpúsculo centrosómico adelgazado ó filamentososo; *d*, núcleo incurvado con la aparición de los cirros sobre el filamento centrosómico; *e*, anterozoide maduro con la vesícula inerte.

ciliares, se suman las acciones bruscas producidas por las *vacuolas pulsátiles* semejantes á las de los animales protozoarios.

**act. Irritabilidad.**—El protoplasma es en cierto modo sensible y totalmente irritable, pues reacciona automáticamente con movimientos y sin cambiar de naturaleza ni de composición ante las influencias ó agentes del medio externo.

Mas como de este asunto hemos tratado ligeramente (pág. 13) y volveremos á insistir más adelante con todo detalle, en ambos capítulos apreciará el lector lo que la ciencia dice respecto al particular.

#### Derivados del protoplasma.

—Real y verdaderamente y en tesis general, bien puede decirse que todas las sustancias que se hallan en el interior de las células son derivadas del protoplasma, pues absolutamente todos los productos son resultado del metabolismo celular.

Sin embargo, aplicamos especialmente esta denominación con el fin ordenado, si bien artificial, de distinguir entre todas

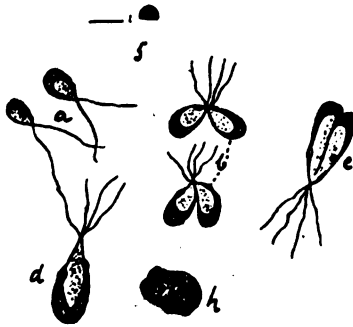


Fig. 78.—Gametos de *Monostroma bullosum*.—*a*, gametos ciliados semejantes; *b*, su fusión pico con pico; *c*, fusión longitudinal; *d*, fusión completa; *e*, huevo.

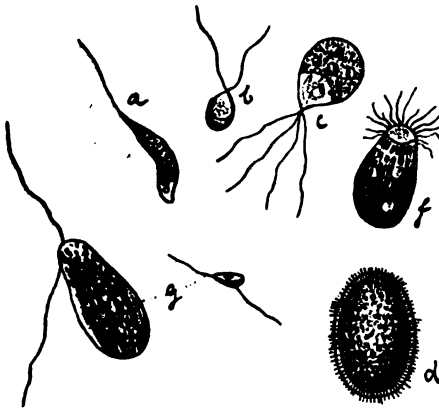


Fig. 79.—Tipos de zoosporas.—*a*, de *Physarum* (Mixomiceto); *b*, de *Monostroma* (la porción oscura es la parte verde y punto rojo, y la clara el pico blanco); *c*, de *Ulothrix*; *d*, de *Edogoneum*; *f*, de *Vaucheria*. Gametos ciliados desiguales.—*g*, de *Cutleria*: el de la izquierda femenino; el más pequeño de la derecha masculino.

las sustancias los corpúsculos figurados que se encuentran en el seno de la masa protoplásmica. En este sentido, consideraremos como productos derivados del protoplasma, tres: los *plasmitos*, corpúsculos condensados del mismo protoplasma; las *substancias grasas* procedentes del metabolismo celular, y las *materias minerales*, ora resulten de reacciones químicas operadas en las células (oxalatos, carbonatos de cal, etc.), ora procedan de simples cambios de estado de las sustancias absorbidas (sílice).

## CAPÍTULO II

### PLASMITOS.—CLOROPLASMITOS: FORMACIÓN DEL ALMIDÓN

**Plasmitos.**—Con este nombre sinónimo de *plastidios* y de *leucitos* (1) designamos los corpúsculos más ó menos condensados de citoplasma, constituídos en su origen por una finísima reticulación protoplásmica y formados de una mezcla de sustancias albuminoideas en proporciones variables (fig. 80).

Dichos corpúsculos, que afectan variadísimas formas, se hallan contenidos en el citoplasma y localizados generalmente alrededor del núcleo, en los cordones ó filetes protoplásmicos, etc., y nunca incluidos en el núcleo. Decimos esto, porque si á veces parecen encontrarse en los núcleos, bien cloroplastos (hojas de *Magnolia*, frutos del *Physalis*), ora cristaloides (*Lathræa*, *Utricularia*, *Pinguicula*),

bien almidón (*Tradescantia*, *Lhara*), ora materias colorantes (*Ajuga*, *Tradescantia*, *Podocarpus*, *Solanum nigrum*), bueno es hacer constar que con la edad pierde el núcleo su auto-

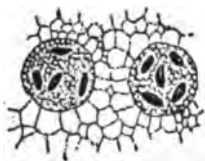


Fig. 80.—Dos plasmitos de una de las células del tallo joven del *Lupinus albus*

(1) Empleamos la palabra *plasmitos*, porque la de *plastidios* alude, según Perier, á toda la masa protoplásmica, y la de *leucitos* induce á error, pues nunca dichos corpúsculos tienen color blanco.

mía, y dotado de una actividad química comparable á la del citoplasma, pasa á la categoría de plasmio.

Subordinando en cierto modo la exactitud á la claridad, dividiremos los plasmios en dos grupos: *vivos ó activos, é inertes ó en reserva.*

Los corpúsculos del primer grupo, merced á su vida activa, originan productos que de ser necesarios para el desarrollo celular, son asimilados á medida que se forman; ó de no ser utilizados *ipso facto*, se almacenan para ulteriores beneficios en los mismos centros de formación ó en otros de atracción (pirenoides), y también en células especiales. Entre ellos estudiaremos los *cromoplasmios, amiloplasmios, eleoplasmios é hidropasmios*, si bien algunos de estos últimos corresponden al segundo grupo (hidropasmios, albuminíferos desecados, oxalíferos, etc.) A los cromoplasmios y amiloplasmios denomina Strasburger *cromatoforos*, é indica además que su función principal es elaborar almidón (1).

Los plasmios del segundo grupo son corpúsculos cuya misión general es formar sustancias en reserva, esto es, productos en estado insoluble, que, previa la transformación en solubles por medio de las *diastasas*, son utilizados por las células como alimentos. Entre ellos estudiaremos los *granos de aleurona* y los *cristaloides*, si bien algunos de estos últimos corresponden de lleno al primer grupo.

#### CROMOPLASMIOS

De un modo general reciben esta denominación todos los plasmios y corpúsculos cristalinos procedentes de sustancias plásmicas ó protéicas, teñidos de coloraciones diversas. De aquí los nombres de *cloroplasmios* (verdes), *cianoplasmios* (azul-verdosos), *feoplasmios* (pardos), *eritropasmios* (rojos) y *xantoplasmios* (amarillos).

(1) Con el nombre de *cromatoforos* designa Strasburger á los cloroplastos, cromoplastos y leucoplastos, que corresponden respectivamente á los cuerpos clorofílicos (cromoplastos verdes), corpúsculos de otra coloración y leucitos incoloros (amiloplastos). Véase el *Manuel technique d'Anatomie végétale*: París, 1886, pág. 53.

Ahora bien: aun cuando interesa conocer el fin funcional de todos estos corpúsculos coloreados, como quiera que la materia verde es la dominante en las plantas fanerógamas y criptógamas vasculares, comenzaremos por el estudio de los cloroplastos.

### 1.—Cloroplastos ó cromoplastos verdes.

Impropiamente denominados *cloroleucitos*, *cloroplastidios* y *granos clorofilicos*, llevan aquel nombre todos los plasmidos que se hallan impregnados de un pigmento complejo en composición, y verde, llamado *clorofila*.

**Origen y multiplicación.**—En los primeros albores ó fases de

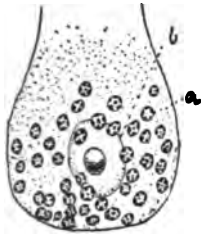


Fig. 81. — Porción inferior del huevo de *Daphne Blagayana*. — a, plasmidos con granos de almidón compuestos; b, núcleo con nucleolo.

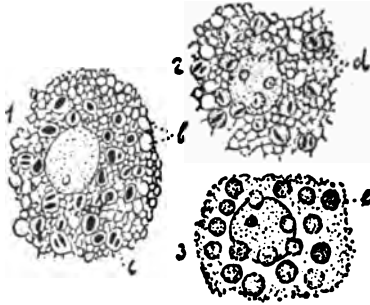


Fig 82. — Formación de los cloroplastos en el embrión del *Lupinus mutabilis*. — 1, muy joven; 2, casi maduro; 3, maduro; b, vesículas iniciales de los cloroplastos; c, con almidón generador; d, con resto de almidón; e, cloroplasto maduro después de reabsorber todo el almidón.

desarrollo del embrión, mejor todavía en el estado de huevo, los cloroplastos, según las plantas, se originan de dos modos diferentes. Unas veces (*Daphne*) (fig. 81), los gérmenes se hallan representados por vesículas llenas de una substancia incolora y semifluida con granulaciones de almidón; más tarde, y á expensas de este hidrato de carbono, se constituye la granulación protéica distinta del citoplasma ambiente, y aparece al mismo tiempo y lentamente la coloración verdosa. Otras veces (guisante, altramuza) (fig. 82), las vesículas generadoras, llenas de

jugo celular y limitadas por cubiertas citoplásmicas, son invadidas cada una por un grano de almidón, el cual crece en todas ellas hasta rellenar por completo la vesícula correspondiente; llegado este estado, el citoplasma general penetra en la vesícula, transformando el hidrato de carbono invasor, y se produce la granulación protéica, que poco á poco adquiere el color verde. Ambos orígenes manifiestan claramente que *el almidón es la materia prima en la constitución de los cloroplasmitos*.

Se multiplican los cloroplasmitos, una vez constituídos, bien por *bipartición*, es decir, estrechándose en su parte media á modo de bizcocho; bien por *tabicación*, ó sea produciéndose sin estrangulamiento el tabique medianero. Ambos medios de multiplicación pueden ocurrir indistintamente en una

misma planta: tal sucede en los musgos (figura 83).



Fig. 83. — Multiplicación de los cloroplasmitos en los Musgos. — I, por bipartición; II, por tabicación.

*Posición*. — Con el fin de utilizar lo mejor posible las radiaciones luminosas para el debido funcionamiento de los cloroplasmitos, éstos se disponen de dos maneras muy distintas. En efecto: si la luz incidente es de intensidad me-

dia, los corpúsculos clorofílicos se colocan en el plano de las dos caras de la célula que hacen frente á la influencia luminosa, pues sólo de este modo aprovechan y absorben por completo las radiaciones necesarias: *posición de frente ó epistrópica*. Mas si el manantial de luz es lo bastante intenso para producir efectos destructores, entonces los cloroplasmitos se disponen sobre las caras laterales para defenderse y colocarse al abrigo de tan nociva radiación: *posición lateral ó apostrópica* (fig. 84). Estos mismos efectos se suceden durante el día (de luz poco intensa) y la noche, en cuyo caso reciben los nombres de posición *diurna y nocturna*.

*Forma*. — La forma de los cloroplasmitos es muy variada: en general es oval ó redondeada (células de las fanerógamas en general); otras veces poliédrica (algunos musgos), espiral (*Spi-*

*rogyra*) (fig. 85), cilíndrica y dispuesta á lo largo del eje de la célula (*Mesocarpus*) (fig. 86), estrellada (*Zygnema*) (fig. 87) y anular (*Draparnaldia*) (fig. 88), etcétera.

**Pigmentos.**—El pigmento colorante verde que tiñe á los cloroplastos, se denomina *clorofila*. Consiste ésta en una mezcla de tres principios cristalizables: la *clorofila pura*, pigmento verde de naturaleza aluminosa; la

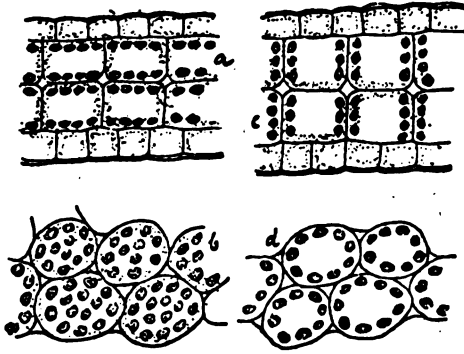


Fig. 84.—Posición de los cloroplastos en el interior de las células (hoja de *Lemna trisulca*).—Con luz débil: *a* y *b*, posición de frente. Con luz viva: *c* y *d*, posición lateral; *a* y *c*, vista de perfil; *b* y *d*, vista de cara.

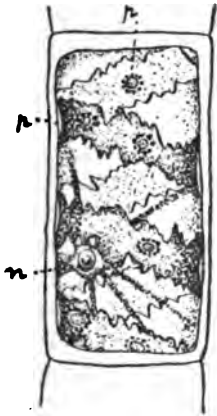


Fig. 85.—Célula de *Spirogyra* con su cloroplasto en espiral.—*n*, núcleo; *p*, pirenoides con corona de granillo de almidón.

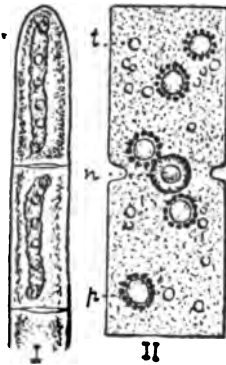


Fig. 86.—Células del alga *Mesocarpus scalaris*.—I, con la lámina clorofílica vista de perfil; II, lámina verde vista de frente; *t*, vesículas con tanino; *n*, núcleo; *p*, pirenoides con granillos de almidón.

*xantofila*, pigmento amarillo no azoado, y la *eritrofila* ó *carotina*, carburo de hidrógeno ( $C^{66} H^{106}$ ), idéntico principio al que colorea á la raíz de la zanahoria.

**Obtención.**—La clorofila se obtiene cociendo hojas de espinaca, secándolas en la obscuridad (porque la clorofila es muy inestable en la luz) y pulverizándolas. Si queremos que sea más condensada (porque algo se pierde por la cocción), se pueden desecar en recinto obscuro, dentro de una campana que tenga una cápsula con ácido sulfúrico, y reduciéndolas después á polvo.

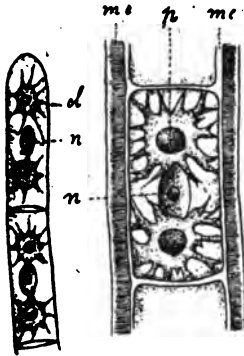


Fig. 87.—Cloroplastos estirados del alga *Zyguema cruciatum*.—*n*, núcleo; *p*, pirenoides.

Para separar los tres principios cristalizables que componen la clorofila, se siguen los procedimientos siguientes:

El primero consiste en disolver el polvo obtenido anteriormente, en alcohol concentrado, cuya disolución tomará una coloración verde intensa por refracción y roja en parte por reflexión. Si á esta solución alcohólica se añade agua y se agita con bencina, se obtienen dos capas por

orden de densidades: la superior, soluble en la bencina, presenta un hermoso color verde, y es la *clorofila pura*, que después de algunos días se oxida y se transforma en una substancia parda llamada *clorofilana*: la inferior, soluble en el alcohol, es amarilla y es la *xantofila*, mezclada con grasas, cloroplastos decolorados y demás materias extrañas. La xantofila, aun cuando más estable que la clorofila pura, al cabo de mucho tiempo adquiere un tinte rosado: este matiz está relacio-



Fig. 88.—Cloroplastos anulares del alga *Draparnaldia glomerata*.—*n*, núcleo; *p*, pirenoides con granillos de almidón.

nado en parte con la coloración autumnal de las hojas.

El segundo procedimiento determina más radicalmente los principios cristalizables de la clorofila: para ello, se trituran rá-



pidamente en un mortero hojas frescas de espinaca y se las trata por alcohol puro. Cuando la tintura verde está bien concentrada, se vierte en un embudo cuyo agujero de salida esté cubierto con una capa de negro animal en granos. Este negro animal retiene los dos principios cristalizables, mientras que el líquido alcohólico que pasa á su través mantiene las materias extrañas y demás restos protoplásmicos. Se lava el negro animal con alcohol de 65°, y de este modo se separa la *xantofila*, que cristaliza por evaporación en cristales amarillos; se vierte después sobre el mismo negro éter anhidro y mejor aceite ligero de petróleo, y se obtiene un líquido verde que, evaporándolo lentamente, da lugar á la *clorofila pura* cristalizada y á veces también á un derivado débilmente oxidado de este principio. Ambos cristalizan en agujas libres ó agrupadas en esferocristales.

Para aislar la *eritrofila* ó *carotina*, se secan rápidamente en el vacío y en la obscuridad hojas de espinaca; se pulverizan después, y el polvo obtenido se tiene en digestión en aceite de petróleo que disuelve la xantofila y carotina; se destila la disolución, y se termina la evaporación del petróleo al aire libre. Se obtiene de esta manera un residuo de pequeños cristales oscuros dotados de brillo metálico, á los que, adicionando éter anhidro, se les priva de todos los principios extraños y céreos que contengan. Se purifican los cristales por cristalizaciones repetidas, valiéndose de la bencina ó del petróleo. La carotina obtenida, muy poco abundante, se presenta en tablas romboidales de coloración rojo-anaranjada por refracción y azul verdosa por reflexión. El reactivo característico de estos cristales es el ácido sulfúrico concentrado que los disuelve, adquiriendo el líquido color azul violado.

La *clorofila pura* se presenta bajo la forma de agujas blandas de un verde intenso, dicróicas, es decir, pardo-rojizas por reflexión, verdes por refracción, insolubles en el agua y solubles en el alcohol. En presencia del aire y de los ácidos diluidos, se oxida y se convierte en *clorofilana*: esta transformación correlativa á la producción de anhídrido carbónico, es muy activa en presencia de la luz solar. Los agentes reductores, como el hidrógeno, transforman la clorofilana en clorofila pura.

El ácido clorhídrico concentrado desdobra la clorofila en

dos nuevos principios: uno *filociánico*, azul y soluble en el ácido, y otro *filoxántico*, amarillo y separado de la mezcla por el éter.

En presencia de los álcalis diluídos ó carbonatos alcalinos, la clorofila pura no pardea, y, por consiguiente, no se transforma en clorofilana. El fenómeno es debido á que se une á la base y forma una sal estable (*cloroflato de sodio*), siempre verde. Esta propiedad se utiliza para conservar las legumbres verdes.

**Formación del pigmento.**—La formación del pigmento verde necesita condiciones *extrínsecas* ó radiaciones de calor y luz, é *intrínsecas* ó principios generadores para su constitución.

**a. Extrínsecas.**—Para la *xantofila* sólo las radiaciones caloríficas intervienen en su desarrollo: aun en la mayor obscuridad se forma (plantas cloróticas), si bien la temperatura ha

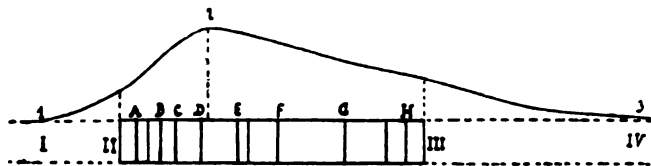


Fig. 89.—Curva de acción verdosa según las diversas radiaciones.—I-II, infra-rojo; II-III, espectro luminoso; III-IV, ultra-violado; A H, rayas principales del espectro; 1 y 3, acción clorofílica nula; 2, máximum de verdor cerca de la raya D.

de estar comprendida entre un máximum y un mínimum variables según la planta.

La *clorofila pura* exige además radiaciones luminosas. Por excepción se produce color verde en la obscuridad (coníferas, y bulbos de cebolla, azafrán, etc.)

Todos los elementos de la radiación solar, si bien desigualmente, son capaces de provocar el desarrollo de la clorofila pura, y lo mismo se produce con el espectro no luminoso (radiaciones caloríficas infra-rojas y radiaciones químicas ultra-violadas), que son el espectro luminoso.

El verde adquiere su *máximum de intensidad en la luz amarilla* (raya D), y de aquí á uno y otro lado del espectro se va debilitando la acción hasta que se anula en el infra-rojo, á una distancia del rojo igual á la que separa á éste del amarillo; y en el ultra-violado, á una distancia del violado sensiblemente igual á la que separa á éste del amarillo (fig. 89).

La luz no debe ser muy intensa, porque entonces la clorofila se descompone; y respecto á la temperatura, aun cuando variable según las plantas, sin embargo, debe oscilar entre un *minimum* de 5° y un *máximum* de 38°. El verdor más lozano se manifiesta con la temperatura óptimum de 30°.

*aa. Intrínsecas.*—Las condiciones intrínsecas para la aparición en la clorofila de los plasmitos teñidos ya de amarillo por la xantofila, son, de una parte, la presencia del *oxígeno libre* y de la *protoclorofila*, y de otra, el concurso de un *grano de almidón* ó de un hidrato de carbono.

La *protoclorofila* es un principio incoloro ó débilmente ama-

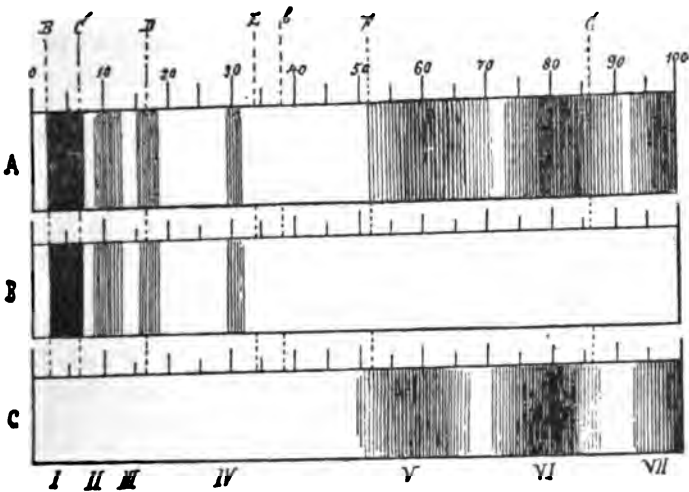


Fig. 90.—A, espectro de absorción de una disolución poco espesa de tintura de clorofila; I-IV, bandas de absorción de la clorofila pura; V-VII, bandas de la xantofila; B, espectro de absorción de la clorofila pura; C, espectro de absorción de la xantofila.

rillo contenido en los plasmitos amarillos. Sus disoluciones concentradas son amarillas ó rojas, y de las cuatro bandas de absorción de la clorofila pura en el espectro que luego estudiaremos (fig. 90), no ofrece jamás la banda I, y en cambio se observa bien marcada la banda II.

Oxidándose esta protoclorofila en presencia de la luz, se constituye el pigmento verde.

Por último, el *almidón* ó un hidrato de carbono cualquiera,

es absolutamente indispensable para la formación del pigmento verde.

Esta condición, algún tanto lógica, de ser imprescindible la intervención del almidón en el origen de los cloroplastos, puede demostrarse experimentalmente. En efecto: sumergiendo en una solución nutritiva hojas amarillentas, descoloridas ó cloróticas, de trigo, haba, etc., el verdor no se produce aun expuestas á la luz, hasta tanto en dicha solución no haya azúcar ó un hidrato de carbono. De la misma manera, si en plena obscuridad prolongamos la estancia de una plantita al terminar la germinación de su semilla, los principios necesarios á la elaboración de la clorofila, y principalmente el almidón, son consumidos por ella para atender á su desarrollo; mas si en estas condiciones sometemos ó exponemos dicha plantita á la acción de la luz, observaremos que no se produce verdor alguno, y si há lugar, es sumamente débil.

De todo lo cual se desprende que el almidón, transitorio y necesario *a priori* para la formación de los cloroplastos, *no debe confundirse* con el que originan éstos *a posteriori*, á consecuencia de la asimilación del anhídrido carbónico, según vamos ahora á demostrar.

**Propiedad del pigmento en el plasmito.**—La propiedad más radical é importante que el pigmento verde tiene en la vida de la planta, es, sin duda alguna, la absorción de determinadas radiaciones luminosas, sin las cuales la célula verde y viva sería incapaz de asimilar el anhídrido carbónico y demás alimentos minerales.

La naturaleza de las radiaciones fijadas por dicho pigmento en los cloroplastos, es determinada por su espectro de absorción.

En efecto: separadas las dos sustancias más principales del pigmento como se indicó anteriormente, y colocadas las disoluciones de cada una de ellas, es decir, de la clorofila pura y de la xantofila, en dos pequeñas cubetas de vidrio de caras paralelas, delante de la hendidura del colimador de un espectroscopio (1) por el cual hacemos pasar un haz de luz solar, se observa:

(1) En las cátedras nos servimos del *microspectroscopio* de Zeiss, que se coloca en la parte superior del tubo del microscopio á modo de ocular, por lo cual se denomina también *ocular espectroscópico*.

1.º Que la tintura de clorofila pura presenta *cuatro* bandas oscuras de absorción que corresponden á la parte menos refrangible del espectro, esto es, entre el rojo extremo y el verde. La banda I y más visible (fig. 90, *B*) está colocada en el rojo entre las rayas *B* y *C* de Fraunhofer (es la más característica de la clorofila pura, por ser la más oscura); la banda II cae precisamente en el anaranjado entre las rayas *C* y *D* (especialísima de la protoclorofila); la banda III en el amarillo, un poco más allá de la raya *D*, y la banda IV en el amarillo verdoso, un poco más acá de la raya *E*.

2.º La tintura de xantofila (fig. 90, *C*) presenta tres bandas oscuras de absorción entre la región azul y violada, ó sea en la parte más refrangible del espectro. Las bandas V y VI en el azul, y la VII en el extremo violado.

Estas bandas *xantofilicas* son mucho más anchas y menos oscuras que las *clorofilico-puras*, que en oposición á aquéllas son más estrechas y más oscuras.

Ahora bien: mezclados ó unidos los dos principios del pigmento verde, originarán, como es consiguiente, un espectro suma de los dos parciales precitados, y constituido, por tanto, de las siete bandas de absorción respectivas. Por esta razón, en el espectro de una tintura alcohólica y fresca de clorofila total, y también en el producido por una hoja viva y verde, se observan perfectamente las siete bandas de absorción, de las cuales, sin embargo, se perciben con más intensidad las *rojas* de la clorofila pura (banda I), y las *azules* de la xantofila (bandas V y VI reunidas) (figura 90, *A*).

**Empleo de estas radiaciones.**—Dichas radiaciones, absorbidas por el pigmento verde, representan en el cloroplasto activo el manantial de energía necesario para contribuir, transformado en trabajo químico, á la asimilación completa del alimento, incluso de las substancias minerales, y muy principalmente: 1.º á la asimilación del anhídrido carbónico del aire (1), de cuyos dos elementos la célula verde fija el carbono y desprende el oxígeno, dando lugar á la llamada función clorofilica ó asimilación del carbono; y 2.º, á la síntesis de los hidratos

(1) Puede asimilar también parte del anhídrido carbónico procedente de la respiración.

de carbono (1), de los cuales el almidón, por ser abundantísimo en las plantas y su formación más conocida, será objeto de preferente estudio.

No creamos, sin embargo, que el proceso químico del cloroplasto se reduce simplemente á la formación amilácea, pues hay casos que producen al mismo tiempo gotas ó esferitas brillantes de aceite, en número de veinte algunas veces, como sucede, según Van Tieghem, en algunas Cacteeas (*Rhipsalis funalis*, *Cereus variabilis*, etc.), y también cristaloides incoloros que se localizan en su interior, como acontece en el *Acanthephippium silhetense* (fig. 91) y el *Phajus grandifolius* (fig. 92). Estos cristaloides,

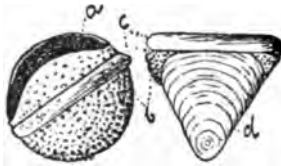


Fig. 91.—*Acanthephippium silhetense*.—c, cristaloides; b, protoplasma granuloso; a, almidón con hilo excéntrico.

Fig. 92.—*Phajus grandifolius*.—d, almidón con hilo excéntrico.

denominados por los botánicos con el nombre de *pirenoides*, son los centros de atracción alrededor de los cuales se agrupan los granos de almidón elaborados por los cloroplastos. (Véanse en las páginas 111 y 112 las figuras 85, 86, 87 y 88.)

**Asimilación del carbono.**—Para demostrar esta asimilación, fundada en la descomposición del anhídrido carbónico, nos serviremos del objetivo micro-espectroscópico de Engelmann, de un líquido cargado de bac-

terias, y como objeto de observación de algas verdes filamentosas.

Consiste aquel accesorio microscópico en un tubo de metal que se coloca en la parte inferior de la platina, en sustitución del aparato de iluminación del microscopio; en el interior de dicho tubo se halla un prisma de visión directa, y por fuera un espejo circular movable. La luz blanca reflejada en el espejo penetra en el interior del objetivo micro-espectroscópico por la hendidura del colimador (que se puede alargar, acortar ó ensanchar por medio de un tornillo dispuesto convenientemente).

(1) El estudio de la síntesis de los hidratos de carbono pertenece á fisiología.

mente), y concentrada por una lente convergente, atraviesa el prisma originando un espectro que se proyecta sobre el porta-objetos colocado en la platina del microscopio (fig. 93).

En el porta-objetos se depositan unas gotas de agua cargada de anhídrido carbónico y de bacterias aerobias, eligiendo entre éstas las que sean muy ávidas de oxígeno, esto es, aquéllas que, colocando encima el cubre-objetos, se acumulen alrededor de las burbujas de aire que en el líquido se encuentran, y en los bordes de la laminilla con el fin de absorber más libremente el oxígeno necesario para la respiración. Por esta razón, la bacteriácea más apropiada es el *Bacterium termo*, agente ordinario de las putrefacciones y que pulula con gran movilidad en las aguas corrompidas, pues es la más sensible á las diferencias de intensidad en el desprendimiento de oxígeno que acusan los diversos matices colorantes del espectro.

Y finalmente, entre las algas verdes escogeremos los filamentos celulares de una *Cladophora*, *Spirogyra*, etcétera.

Ahora bien: si con estos tres factores fundamentales entramos de lleno en la experimentación, es decir, si colocamos en un porta-objetos el filamento del alga elegida, en unas gotas de agua carbónica cargada de la citada bacteria, y proyectamos sobre esta preparación así dispuesta, el espectro procedente del objetivo Engelmann, observaremos análogamente que las bacterias se acumulan allí donde el desprendimiento de oxígeno es más

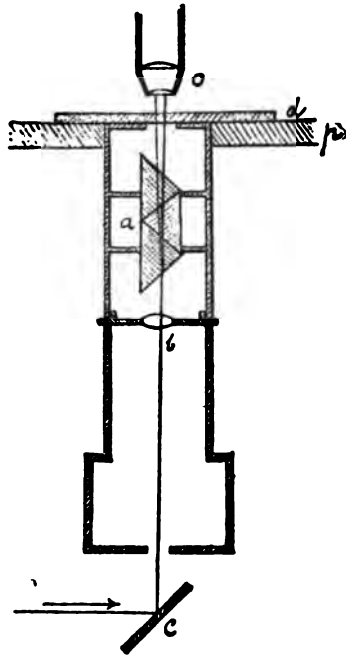


Fig. 93. — Partes principales del objetivo micro-espectroscópico de Engelmann. — a, prisma de visión directa; b, lente convergente; c, espejo; d, porta-objetos; o, objetivo del microscopio; p, platina.

intenso, y al cabo de algunos minutos se aglomeran preferentemente en las radiaciones rojas y azules, que son precisamente las que intervienen en la descomposición del anhídrido carbónico.

Las observaciones efectuadas en este concepto, empleando siempre la *lux difusa*, que es la más apropiada al experimento, han dado el resultado siguiente. La acumulación de bacterias alcanza su mayor grado en el rojo, al nivel de la banda I de absorción; decrece bruscamente hacia la izquierda, anulándose en el límite del infra-rojo, y disminuye lentamente, pero sin anularse, hacia la derecha hasta llegar al verde.

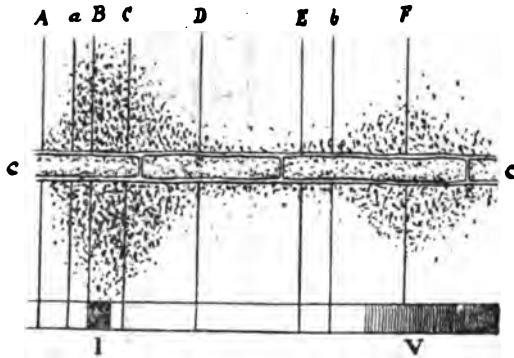


Fig 94.—A-F, rayas del espectro; I-V, bandas de absorción de la clorofila que corresponden a las zonas donde se acumulan las bacterias; c, c, filamentos de un alga verde (*Cladophora*).

La concurrencia de bacterias en la región más refrangible del espectro, ó sea en la porción azul y violeta, es menos acentuada que la anterior, y de espesor decreciente más gradual en ambos lados; pero, en cambio, más extendida como consecuencia

de la gran dispersión de los rayos en esta región (fig. 94).

Se admite que la intensidad de la descomposición del anhídrido carbónico producida por un rayo de determinada longitud de onda, depende de dos elementos, cuales son: la energía actual de este rayo y su coeficiente de absorción por la clorofila; de aquí que las radiaciones más activas serán las que, siendo mejor absorbidas por la clorofila, poseen al mismo tiempo la mayor energía actual. Por esta razón, si se divide la región luminosa del espectro, con sus dos longitudes extremas  $\lambda = 0,765$  y  $\lambda = 0,395$ , en dos porciones iguales, la fracción  $\lambda = 0,580$  representa la longitud de onda respectiva a la intensidad de la descomposición del anhídrido carbónico, exac-



tamente igual en ambas mitades, debido á la compensación que entre ambos factores se establece, ó sea correspondiendo á la mayor energía la menor absorción por la clorofila, y recíprocamente.

Conviene advertir que á esta energía luminosa absorbida corresponde también la misma intensidad térmica.

Esta experimentación por medio de las bacterias, descubre además que la descomposición del anhídrido carbónico está localizada en los cloroplastos y no se opera en el citoplasma incoloro, pues bastaría elegir células cuyos cuerpos clorofílicos se hallan espaciados, como sucede en los cloroplastos espirales de la *Spirogyra*, para ver con toda claridad que las bacterias se acumulan únicamente en los plastos verdes, dejando libre ó desalojado el espacio protoplásmico que los separa.

NOTA.—Si depositamos sobre el porta-objetos, en vez de un alga verde, un cultivo de *Bacterias purpúreas*, observaremos entonces que el *Bacterium termo* se acumula preferentemente en las regiones amarilla, verde é infra-roja, lo cual prueba que la asimilación del anhídrido carbónico y la emisión correlativa de oxígeno por el pigmento rojo de aquellas bacterias, denominado *bacterio-purpurina*, son la consecuencia de la absorción de otras radiaciones distintas á las fijadas por la clorofila.

#### ALMIDÓN

**Origen.**—Por más que cuando estudiemos en fisiología la *amilogénesis*, se dará cuenta de las diferentes hipótesis que se han vertido para explicar la síntesis de los hidratos de carbono, describiremos aquí, partiendo de la base de la fijación del carbono, la más probable que se tiene respecto al origen del almidón, para que, como consecuencia directa de lo explicado en el capítulo anterior, sirva en el presente de punto de partida al estudio que vamos á hacer respecto á la formación, crecimiento, caracteres y digestión de tan importante sustancia alimenticia en las células vegetales.

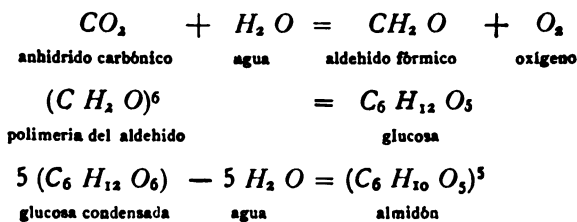
No nos cansaremos de repetir, para que no se pierda el hilo de las conclusiones anteriores, que todo cloroplasto en presencia de la luz absorbe principalmente las radiaciones rojas

y azules; y además, que dichas radiaciones ó fuerzas vivas, convertidas en fuerzas de tensión, constituyen la energía necesaria, en primer lugar, para descomponer el anhídrido carbónico de la atmósfera y parte del originado por la respiración, y en segundo, para establecer la síntesis de los hidratos de carbono, tan útiles á la vida de la planta.

Por el primer concepto, la célula verde fija carbono y desprende oxígeno, y por el segundo, origina el cloroplasto los hidratos de carbono, y principalmente el almidón, que pasan anteriormente por el estado de glucosa.

Para conseguir este fin, se supone con bastante fundamento que el carbono se combina con los elementos del agua, formando el aldehído fórmico ó metílico; y como este cuerpo, según ha demostrado Bayer, se polimeriza fácilmente en medios alcalinos, y el citoplasma tiene esta condición, al polimerizarse dicho aldehído constituye las glucosas (que efectivamente toman origen en las hojas de la mayor parte de las plantas verdes en el curso de la asimilación), las cuales, condensadas cinco veces sus moléculas respectivas, darán origen por deshidratación al almidón.

Las fórmulas del curso amilogénico parecen ser las siguientes:

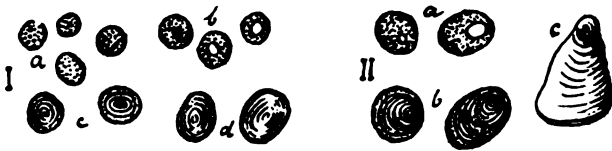


fórmula que se asigna al almidón sin poder asegurarla.

*Observación.* — Si tenemos en cuenta que no sólo los cloroplastos, sino también los cromoplastos y amiloplastos que estudiaremos muy pronto, desempeñan la importantísima función de elaborar almidón, se infiere que todo corpúsculo, sea ó no verde y en condiciones adecuadas, puede sencillamente originar dicho hidrato de carbono. Sin embargo, donde esta función radica muy principalmente es en el citoplasma; en efecto: basta recordar que las vesículas citoplásmicas necesitan para transformarse en cloroplastos un grano de al-

midón ó de un hidrato de carbono; basta saber también que este producto amiláceo puede provenir de sustancias albuminoideas, como haremos notar en fisiología; y si á estos razonamientos se agrega el que, como acontece en las algas florídeas (1), granos impregnados de amilodextrina ó de almidón, coloreables respectivamente en rojo y azul, en presencia del yodo nacen y anidan en el seno de los citoplasmas celulares, desligados completamente ó sin relación alguna con los plasmitos rojos ó eritroplasmitos tan abundantes en aquellas algas de las cuales pudieran proceder; la consecuencia que se deduce es que, conservando el citoplasma fundamental la facultad innata de engendrar los hidratos de carbono cuando la vida los reclame, delega, sin embargo, en los plasmitos, si vale la frase, dicha misión, por hallarse diferenciados *ad hoc* en razón á la división del trabajo fisiológico.

**Formación.**—Bajo la forma de una fina granulación y entre las mallas reticulares del plasmito, aparecen los granos de almidón. De éstos, tomando uno como punto de partida, dos



Figs. 95 y 96. —Formación del grano de almidón.—I: a, cloroplastos; b, granulación central; c y d, estados sucesivos de formación (pericarpio del guisante).—II (del rizoma de la *Canna indica*): a, granulación excéntrica; b y c, estados sucesivos de la formación.

casos pueden suceder: que tenga la posición *central* ó *lateral*. En el primer caso (figs. 95 y 96, I), la substancia del plasmito segrega las partículas amiláceas que deposita alrededor de la granulación primitiva, formando de este modo capas concéntricas hasta rellenar todo el corpúsculo citoplásmico. En el segundo (figs. 95 y 96, II), se precipitan las partículas amiláceas en derredor de la granulación original, del mismo modo que en el caso anterior; pero como el punto de partida es lateral ó excéntrico, resulta que el grano de almidón se pone en contacto con la superficie del plasmito, más pronto de un lado que de otro; en cuyo caso, suprimida ó muy reducida la for-

(1) Belzung, *Anatomie et physiologie vegetales*, 1900, pág. 105.

mación de capas amiláceas del costado más externo ó cercano al plasmito y conservando toda su actividad el contorno libre, continúa la formación de capas hasta rellenar el plasmito. La primera formación corresponde á la estructura *concéntrica*; la segunda á la *excéntrica*. En ambos casos la estratificación aparece como un producto de secreción de los plasmitos.

**Crecimiento.**—El crecimiento de los granos de almidón se verifica por *aposición*, es decir, por adición de partículas amiláceas sobre la superficie del grano, y nunca por imbibición, ó sea por interposición de dichas partículas entre las antiguas.

En su origen, la granulacion primitiva consiste en una



Fig. 97.—Aposición de las capas concéntricas. — I: a, núcleo original; b, c y d, capas posteriores formadas.—II: a, granos de almidón corroídos (del cotiledon del *Dolichos Lablab*; b y c, capas nuevas yuxtapuestas

substancia *homogénea* brillante ó clara y pobre en agua (fig. 97, I). Bien pronto y por acumulación de agua en su porción central, se diferencia en un núcleo *oscuro* y una capa *clara*. Esta capa se espesa después por aposición de nuevas partículas, y como del mismo modo que anteriormente recibe nueva acumulación de agua, se diferencia á su vez en una zona media oscura entre dos claras, que, sumadas con el núcleo central, dan lugar á cuatro, dos claras y dos oscuras. En fin, continuando de esta manera los granos

de almidón, aumentan de volumen y crecen sin perder detalle de la estratificación ó estructura zonal que les distingue.

Además, si los granos de almidón, á consecuencia del crecimiento muy activo de los órganos, sufren reabsorciones parciales, en el momento las superficies corroídas se cicatrizan con nueva serie de capas (fig. 97, II).

**Caracteres físico.**—Depositando sobre el porta-objetos una gota de agua y colocando en ésta cortes microtómicos practicados al efecto ó el jugo de los órganos en que se encuentra el almidón (1), éste se presenta en granillos pequeñísimos de una

(1) El nombre de fécula que también se le aplica, corresponde principalmente al almidón formado en las células de los rizomas, tubérculos, y en general de todos los órganos subterráneos.

décima á una milésima de milímetro, correspondiendo los mayores á las células centrales del tubérculo de la patata, y los más pequeños á los originados por los cromoplasmitos.

La forma de dichos granos es variable, y puede ser esférica (trigo), oval (judía), poliédrica (avena), simulando bastoncitos (*latex de Euphorbia helioscopia*), en forma de húmero (*latex de Euphorbia splendens*) (fig. 98, etc.)

Se observa además en los granos de almidón una *estriación zonada* ó *estratificada*, y á veces *estriación radiada*.

La primera depende de que las capas constitutivas son alternativamente claras y oscuras, á consecuencia de una desigual repartición de agua de constitución del grano, siendo las más claras menos hidratadas que las oscuras. La cohesión, densidad y refringibilidad, disminuye ó aumenta con la proporción de agua; de donde resulta que basta una gota de este líquido para que, absorbiendo el almidón la cantidad necesaria, se destaquen con toda brillantez las capas de que está formado. De estas ca-



Fig. 98. — Lactífero de *Euphorbia splendens*, con granos de almidón en forma de húmero.



Fig. 99. — Granos de almidón. — *a*, de guisante con hilo fisurado central; *b*, del tubérculo de patata con hilo excéntrico; *c*, del albumen del trigo (de frente y de perfil); *d*, del maíz con hilo estrellado; *e*, granos de almidón compuesto (del albumen de la avena).

pas, la periférica es siempre más clara y consistente; en cambio, el núcleo es mucho más blando y oscuro.

Este núcleo, llamado también hilo, aparece en el interior del grano bajo la forma de un punto (trigo), línea (guisante) ó estrella más ó menos irregular (avena, maíz), siendo esta últi-

ma forma muy general en los granos desecados. Dicho hilo puede ser *central* (guisante) ó *excéntrico* (patata) (fig. 99): en el primer caso las capas son regulares y de un espesor casi uniforme; en el segundo, se adelgazan en la proximidad del núcleo, hasta el punto de desvanecerse la estratificación.

La *estriación radiada* se hace visible en ciertas semillas (*Sorghum vulgare*) (fig. 100) cuando se les ataca previamente con el nitrato de calcio en solución concentrada. El grano de almidón representa entonces un esfero-cristal formado de cristalitas radiantes, que, observado entre los nícoles cruzados,

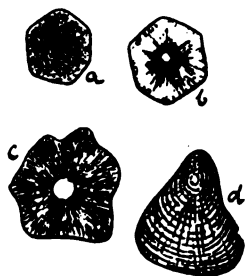


Fig. 100.—*a, b, c*, estados sucesivos y estriación radiada de los granos de almidón del *Sorghum vulgare*, tratados por el nitrato de calcio; *d*, grano de almidón del tubérculo de patata.

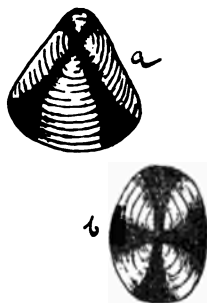


Fig. 101.—*a*, granos de almidón de la patata á la luz polarizada; *b*, de la semilla del guisante.

aparece atravesado por una cruz negra (fig. 101) ó coloreada interponiendo una lámina de yeso.

Estos granos aislados se llaman *simples*; pero puede suceder que, aproximados los de un cloroplastito ó los de cloroplastitos vecinos, se suelden mientras crecen, y comprimiéndose unos con otros afecte cada uno la forma poliédrica y el todo aparezca como una masa reticulada constituyendo un *grano compuesto* (fig. 102), cuyas mallas representan otros tantos granos simples. Y por último, si dos ó más granos contiguos quedan rodeados por una envoltura común formada de una ó varias capas superpuestas (fig. 103), reciben el nombre de *semi-compuestos*, como puede verse en la patata.

**Caracteres químicos.**—El grano de almidón, cuya variabili-

dad morfológica distingue diferentes especies vegetales, es un hidrato de carbono al que le asignamos la conocida fórmula ( $C_6 H_{10} O_5$ ), sin poder asegurarlo. Está esencialmente formado de dos variedades de *amilosa*, que son otros tantos estados isoméricos del mismo almidón.

Una de las variedades recibe el nombre de *amilosa insoluble* ó *esqueleto amiláceo*,

porque á su gran insolubilidad, comparada con la de la otra variedad, se agrega el aspecto reticular ó armadura esquelética que lo distingue. Los caracteres que ofrece son los siguientes: resiste el agua hirviendo;

exige para disolverse una temperatura superior á  $136^{\circ}$ , ó la solución amoniacal de óxido de cobre; y con el ácido sulfúrico concentrado ó el cloruro de zinc, se transforma en la otra variedad amilácea llamada granulosa.

Forma, como hemos dicho ya, el esqueleto del grano de almidón, conservando la forma, tamaño, estructura y propiedades ópticas de éste, si bien su densidad es menor y la estratificación más visible, y de las dos variedades coexis-

tentes en el grano feculento representa ésta á duras penas la octava parte de su peso total. Adquiere con el yodo una tinta amarilla ó amarillo rojiza, siendo frecuente no colorarse del todo.

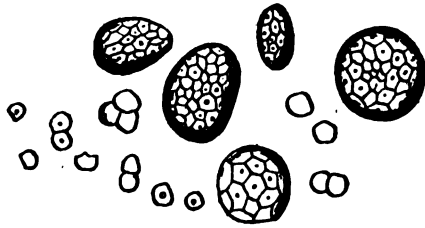


Fig. 102.—Granos compuestos (almidón de la avena): un cierto número de ellos aislados, manifestando su forma poligonal.

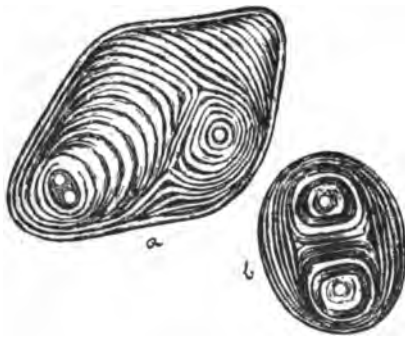


Fig. 103 — a y b, granos semicompuestos del tubérculo de la patata.

A la otra variedad denominada *granulosa* se le ha dado también el impropio vocablo doble de *amilosa soluble*, y decimos impropio, por la inexactitud encerrada en el calificativo tan contradictorio que lleva. Esta substancia, en verdad, es positivamente insoluble en las condiciones ordinarias, aun cuando comparativamente sea mucho menor la insolubilidad que en la variedad anterior, razón por la que, y para su solubilidad completa, es imprescindible sea atacada por los reactivos que vamos á indicar en los caracteres que insertamos á continuación.

Dicha variedad, insoluble á la temperatura ordinaria, es soluble en el agua á temperaturas superiores á 30°; en la saliva entre 38° y 47°; en una disolución de sal común con 1 por 100 de ácido clorhídrico á 60°; en el ácido crómico y en el hipoclorito de cal. Reúne además la particularidad de azulear con el agua yodada, y dicha combinación, llamada *yoduro de almidón*, presenta el fenómeno singular de disociarse y, por tanto, decolorarse por el calor, y de reformarse recuperando el color por el enfriamiento. Rellena todos los espacios ó mallas que deja la variedad anterior ó esqueleto amiláceo, y es la que se destaca en nuestras preparaciones histológicas, por representar, contrarrestando á aquélla, las *siete octavas* partes del peso total del grano amiláceo.

Con lo dicho basta y sobra para comprender que con los reactivos indicados podemos á capricho, y según convenga, disociar una de otra ambas variedades, aun cuando la resistencia á la separación sea mucho mayor en la primera que en la segunda.

Otro distintivo notabilísimo del almidón es que se hincha adquiriendo varios cientos de veces su volumen primitivo cuando se pone en contacto con el agua á 55°, y además pierde la estríación concéntrica, carácter este último que podemos también singularizar si sometemos dichos granos de almidón á la acción de los reactivos deshidratantes, como el alcohol absoluto.

Notemos, sin embargo, y de paso, que si la cantidad de agua es insuficiente, los granos se tocan y se sueldan en una masa transparente y glutinosa denominada *engrudo de almidón*.

*Observación.*—Para que resulte más neta la coloración azul que el almidón adquiere bajo la acción de los vapores yodhídricos, proce-



dentes del agua yodada ó yodo-yodurada, recomendamos el procedimiento siguiente:

Se deposita una gota de agua ó de glicerina en un porta-objetos, y se coloca en ella el jugo ó el corte microtómico de un tubérculo de patata, por ejemplo; se cierra después con el mayor esmero, es decir, teniendo cuidado de no soltar el cubre-objetos hasta tanto no esté en contacto con la gota del medio empleado, pues de este modo se consigue la ausencia de burbujas de aire.

El porta así preparado, se dispone sobre la platina del microscopio, y con un objetivo de mediano aumento observaremos con toda claridad que las células de la sección practicada están completamente llenas de granos de almidón que se distinguen por su forma elipsoidal, hilo excéntrico y estructura zonal (fig. 104).

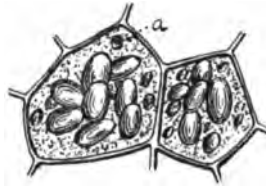


Fig. 104.—Dos células del tubérculo de la patata con granos de almidón.—a, cristaloides de forma cúbica.

Con una baquetilla de vidrio se toma una pequenísima porción del reactivo (agua yodada ó mejor agua yodo-yodurada, obtenida, triturando en un mortero, un grano de yodo y cuatro de yoduro de potasio, añadiendo trescientos de agua) y se deposita en uno de los bordes del cubre-objetos. Al propio tiempo se dispone en el borde opuesto un pedacito de papel absorbente como indica el grabado adjunto (fig. 105).

En estas condiciones, la corriente líquida que á consecuencia de la absorción del papel secante se establece, contribuye á colorear sucesivamente los granos de almidón.

En fin, si los granos de almidón son de muy pequeño tamaño, como acontece con los formados por los cloroplasmitos, conviene hincharlos para hacerlos más accesibles al reactivo yodado. Esto se consigue tratando los cortes con una solución de hidrato de cloral (cloral 10 gramos, agua 10 gramos), ó por una disolución poco concentrada de potasa.

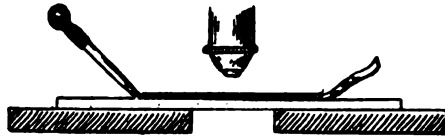


Fig. 105.—Modo de hacer actuar un reactivo sobre una preparación colocada bajo el campo microscópico.

La presencia del almidón en los vegetales es debida á tres fases del proceso metabólico celular. Unas veces es *autóctono*

(Hartig), porque nace dentro de los cloroplastos á expensas de la asimilación del carbono por la clorofila, y cuando el exceso de glucosa es superior al gasto realizado por las células; otras es *transitorio*, porque aparece como de paso en ciertos lugares durante la migración de las glucosas; y por último, recibe el nombre particular de almidón en *reserva* si se almacena para ulteriores beneficios en determinados tejidos (medula) (fig. 106) ú órganos (semillas, rizomas, tubérculos, raíces), á consecuencia de que el azúcar no ha encontrado empleo en las nuevas formaciones celulares del mismo período vegetativo.

Pero como todo este almidón, para ser reabsorbido, necesita transformarse en glucosa, que por su fácil ósmosis citódica, por

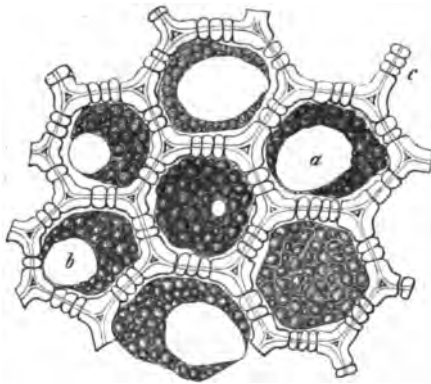


Fig. 106. —Células de la medula del roble llenas de almidón. (T. H.)

sus combinaciones rápidas con las amidas, y por ser el alimento difusible más sencillo, asegura casi por sí solo el incremento orgánico vegetal, indicaremos brevemente en qué consisten estas transformaciones estudiadas bajo el epígrafe de digestión del almidón.

#### Digestión amilácea.

—Se entiende por digestión de las reservas

ó *digestión del almidón*, la serie de transformaciones hidrolíticas mediante las cuales el almidón, como primer término, es convertido en glucosa, considerada hoy día como el último eslabón de la cadena digestiva y el producto definitivo, estable y asimilable de todos los cambios sufridos por aquél. De modo que la digestión amilácea consiste en la transformación del almidón insoluble y no asimilable en glucosa soluble y asimilable.

Esta digestión puede ser *natural* ó *artificial*, según se verifique en las células vegetales como retortas organizadas y vivientes, ó en las cápsulas y matraces del laboratorio. Y hacemos esta notable distinción, para mostrar que los medios pues-

tos en juego por la naturaleza no son ni con mucho semejantes á aquéllos de que dispone el químico para operar esta digestión; ni tampoco son idénticas las corrosiones que se advierten en uno y otro caso sobre la tan señalada materia prima en función.

1. **Digestión natural.**—Esta vital digestión es el trabajo incesante observado en las células de las semillas, tubérculos, yemas, etc., en su paso de vida latente á vida activa, y por ella los granos de almidón, previamente almacenados, sufren las transformaciones hidrolíticas consiguientes y necesarias para dar origen á la glucosa, á expensas de los factores siguientes: temperatura ordinaria; protoplasma *ligeramente ácido*, sin cuya condición no sería eficaz el factor especialísimo *sine qua non* ó fermento diastásico *amilasa* (1), y, finalmente, el agua como *fac totum* para traer y llevar en todos los organismos vegetales.

**Transformaciones hidrolíticas.**—Las transformaciones que se verifican en el interior de las células bajo el poderoso influjo de los agentes ó factores ya reseñados y que simbolizan la digestión natural del almidón, son de dos órdenes, que denominamos *profásicas* y *metafásicas*.

a. **Profásicas.**—A esta categoría corresponden aquellas hidrólisis previas que pudiéramos denominar también *preparatorias* é *isoméricas*, porque originan en el almidón cambios al parecer isoméricos é imprescindiblemente necesarios para llegar al de *granulosa soluble*.

Se observan en las células en sus diversos períodos vitales, y consisten en *hidrataciones sin desdoblamientos* de la misma esencia amilácea, dando lugar y poco á poco á metamorfosear el almidón en sus diferentes aspectos ó variedades anteriormente estudiadas, para finalizar con la solubilidad de la menos insoluble. Comienza el ataque digestivo, y como es natural, por la menos insoluble ó *granulosa*, y continuando la acción sobre la más refractaria, *amilosa insoluble*, se cambia ésta en aquélla, y ambas, finalmente, se traducen al estado isomérico magistralmente preparado de *granulosa soluble*, para que

(1) Este fermento, como casi todos ellos, son sustancias nitrogenadas, neutras, solubles en el agua é insolubles en el alcohol, que se encuentran en el protoplasma.

sobre él tengan efecto las transformaciones hidrolíticas de segundo orden ó metafásicas.

Hasta aquí, como vemos, la intervención del agua con la ayuda de los agentes digestivos, no ha sido otra que la de comunicar al almidón cambios de forma, estructura y estado físico convenientes, conservando íntegra su composición química.

Ahora bien: conocidos los caracteres de los estados isoméricos, amilosa insoluble y granulosa, corresponde indicar los respectivos á la *granulosa soluble*, que son los siguientes: es soluble en el agua; se precipita con el alcohol en depósitos gelatinosos blancos y amorfos; el agua de cal y de barita la precipitan también, formando compuestos particulares. Se colorea en azul por el yodo, formando el *yoduro de granulosa*, y si se añaden á esta disolución algunas gotas de sul-

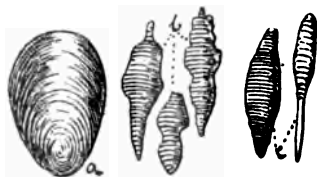


Fig. 107.—Digestión de los granos de almidón durante la germinación.—*a*, grano de almidón entero del bulbo de una azucena; *b*, el mismo en vías de digestión; *c*, almidón de la patata en periodo digestivo.

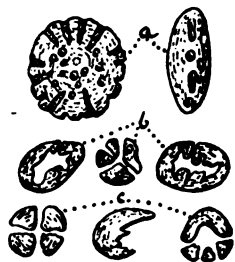


Fig 108.—*a*, canalículos de un grano de almidón del trigo (de frente y de perfil) en proceso digestivo; *b*, digestión de los granos de almidón del bulbo del jacinto (*Hyacinthus orientalis*); *c*, granos de almidón de la judía.

fato de sosa ó de cloruro de calcio, se precipita el yoduro bajo la forma de gelatinosos depósitos azules. Desvía el plano de polarización enérgicamente y hacia la derecha, siendo su poder rotatorio  $+ 218^\circ$ , y el poder reductor pequeñísimo.

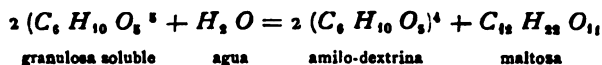
Esta disolución previa ó digestión profásica se verifica de un modo gradual desde la superficie del grano amiláceo á su centro respectivo, y puede ser *igual ó desigual*, según que los granos se disuelven poco á poco y uniformemente por toda la superficie, conservando la forma original hasta su completa desaparición (fig. 107); ó bien sufra el almidón corrosiones locales que, avanzando desde la periferia al centro, origina canalillos, los cuales, llegando al núcleo ó hilo amiláceo (figu-

ra 108), favorecen la acción diastásica para la disolución más rápida de los granos de almidón.

aa. **Metafásicas.**—Con este nombre designamos las transformaciones netamente hidrolíticas, que también pudiéramos denominar *finales* y *dextrínicas*, porque con ellas la granulosa soluble, último término de los cambios profásicos, sufre una serie de *hidrataciones con desdoblamientos* sucesivos, que originando dextrinas diversas en cuanto á sus composiciones y propiedades, llega al estado de *glucosa* asimilable.

Fijémonos también que en todas las hidrataciones señaladas cuyas ecuaciones formuladas vamos á indicar, intervienen *dos* moléculas de la dextrina respectiva con *una* de agua, á más del fermento *amilasa* con los agentes precitados, excepto en el término maltosa, que, siendo la *maltasa* el fermento activo de su transformación en glucosa, también acontece que para su conversión en ésta no intervengan más que *iguales* cantidades moleculares.

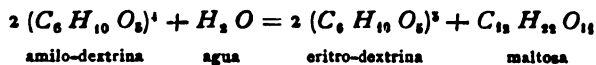
1.<sup>a</sup> *hidratación.*



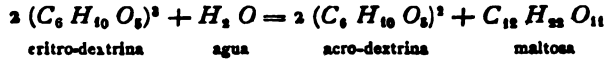
La *amilo-dextrina* cristaliza en agujas que pueden agruparse concéntricamente en forma de disco. Estos cristales en fresco se disuelven en agua fría, y desecados son poco solubles, necesitando que la temperatura del agua sea de 50 á 60° para su completa solubilidad; no se colorean dichos cristales con el yodo, y disueltos en el agua toma ésta una coloración rojo-cobrizo con el reactivo. Reduce muy débilmente el tartrato cupro-potásico, siendo los poderes rotatorio y reductor + 213° y 6 respectivamente.

Respecto á la *maltosa*, ya se indicarán después sus caracteres.

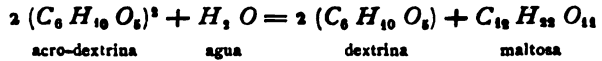
2.<sup>a</sup> *hidratación.*



La *eritro-dextrina*, que constituye la mayor parte de la dextrina del comercio, se caracteriza porque es insoluble en agua fría y se colorea en rojo por el yodo, tanto en disolución como al estado sólido. Sus poderes rotatorio y reductor son, con corta diferencia, los de la amilo-dextrina.

3.<sup>a</sup> hidratación,

La *acro-dextrina* no se colorea por el yodo ni en disolución ni al estado sólido. Su poder rotatorio es  $+ 210^\circ$ , y su poder reductor, 12.

4.<sup>a</sup> hidratación.

La *dextrina* es muy abundante en el jugo celular de aquellos órganos de vegetación activa, y principalmente allí donde el almidón se reabsorbe en virtud de la influencia de los agentes digestivos. Es la forma principal bajo la cual la materia amilácea camina por las células, bien para suministrar á los puntos vegetativos los elementos necesarios para la formación de las membranas celulares, bien para constituir nuevas reservas nutritivas lejos de los puntos donde la primera acumulación ha tenido lugar.

Es una substancia higrométrica que se disuelve en el agua en todas proporciones y á la cual comunica cierta viscosidad: incristalizable y precipitable por el alcohol: al estado sólido presenta un aspecto vítreo, incoloro ó débilmente amarillo, y es mucho más resistente á la acción de los ácidos que los compuestos precedentes más condensados. No se colorea por el yodo, y los poderes rotatorio y reductor son, respectivamente,  $+ 150^\circ$  y 28. Con el reactivo Trommer precipita al estado granuloso con una coloración de rojo cinabrio.

5.<sup>a</sup> hidratación.

La *maltosa* es una de las substancias que se halla esparcidísima en las células vegetales, del mismo modo que la dextrina. Es soluble en el agua, es fermentescible, reduce el tartrato cúprico potásico, su poder rotatorio es el  $+ 139^\circ,3$  y el reductor 66. Bajo la acción de los ácidos diluidos se hidrata y constituye la glucosa.

Esta misma transformación se realiza en las células vegetales, con la suavidad que distingue al quimismo vital, bajo la poderosa influencia del fermento *maltasa*, el cual, en presencia del agua y demás agentes consabidos, se sospecha da lugar á la hidrólisis indicada en la reacción siguiente:

## 6.ª hidratación y última.



Con cuya igualdad mostramos que esta maltosa, como todas las resultantes de las hidrataciones precedentes, se convierten con esta nueva y última hidratación en *glucosas* finales, que, como todos sabemos, son los hidratos de carbono difusibles y asimilables en alto grado.

Dos glucosas hay en las plantas extraordinariamente esparcidas: la *glucosa ordinaria*, *azúcar de uva* ó *dextrosa*, y la *levulosa*. Ambas son fermentescibles y reducen el tartrato cúprico potásico; pero se distinguen, porque la primera desvía el plano de polarización á la derecha, siendo su poder rotatorio  $+ 57^{\circ},6$ , y la segunda á la izquierda con la desviación de  $- 106^{\circ}$  á la temperatura de  $15^{\circ}$  centígrados; la primera, correspondiendo al grupo químico de la *aldosa*; la segunda, al de la *cetosa*.

El poder reductor en la *glucosa ordinaria* es de  $100^{\circ}$ , siendo menor, aunque poco, el de levulosa. Es muy soluble en el agua, pudiendo cristalizar por un reposo prolongado, en cristales maclados mal definidos, y en solución alcohólica, en prismas romboidales oblicuos.

Los orígenes de la glucosa en la vida celular son muy diversos: por una parte se forma, mediante la hidratación de la maltosa, con la ayuda de un agente diastásico denominado *maltasa*; por otra, recordando el desdoblamiento del azúcar de caña, bajo la influencia del fermento invertina; ora por la combinación del carbono con los elementos del agua en la inolvidable asimilación clorofílica; bien, final y probablemente, por la oxidación de los alcoholes, mediante las oxidasas, los amiloplastos ó fermentos especiales.

Su descomposición es fácil todas las veces que la célula está privada del oxígeno atmosférico, dando lugar y según los casos á alcohol, anhídrido carbónico, glicerina, ácido succínico, etc., etc. Así se observa que ciertas plantas que resisten largo tiempo á la asfixia, obran como agentes enérgicos en la descomposición de las glucosas: sirva de ejemplo la fermentación alcohólica del vino mediante el vegetal facultativo anaerobio *Saccaromyces cerevisiæ*.

En suma: las transformaciones hidrolíticas indicadas anteriormente, reseñando al mismo tiempo los poderes rotatorio y reductor de los cuerpos resultantes, con objeto de hacer más patentes y visibles las diferencias que los separan, son las siguientes:

|                                  | GRUPOS       | CUERPOS             | Fórmula.               | Poder rotatorio. | Poder reductor. |
|----------------------------------|--------------|---------------------|------------------------|------------------|-----------------|
| Transformaciones<br>hidráulicas. | Profásicas.. | Amilosa insoluble.  | $(C_6 H_{10} O_5)_8$   | »                | »               |
|                                  |              | Granulosa.....      | Idem.                  | »                | »               |
|                                  |              | Granulosa soluble.  | Idem.                  | + 218°           | »               |
|                                  | Metafásicas  | Amilo-dextrina...   | $(C_6 H_{10} O_5)_4$   | + 213°           | 6               |
|                                  |              | Eritro-dextrina.... | $(C_6 H_{10} O_5)_3$   | Idem             | idem.           |
|                                  |              | Acro-dextrina... .. | $(C_6 H_{10} O_5)_2$   | + 210°           | 12              |
|                                  |              | Dextrina... ..      | $C_6 H_{10} O_5$       | + 150°           | 28              |
|                                  |              | Maltosa... ..       | $C_{12} H_{22} O_{11}$ | + 139°,3         | 66              |
|                                  |              | Glucosa.....        | $C_6 H_{12} O_6$       | + 57°,6          | 100             |

De su simple lectura, como resumen, se desprende: que de la serie *profásica* y sin cambiar de composición química, el hidrato de carbono se presenta bajo diversos estados, ya isoméricos, ya dotados de una cohesión diferente, cuales son la amilosa, granulosa, y granulosa soluble. Que de la serie *metafásica*, el último hidrato de carbono y soluble, llamado granulosa soluble, sufre una serie de hidrataciones y desdoblamientos sucesivos, formándose cada vez maltosa y una nueva dextrina de peso molecular más bajo, de poder rotatorio más débil y de poder reductor más alto; y finalmente, que por una primera hidratación, la última dextrina se transforma en maltosa, y por una segunda hidratación la maltosa se convierte en glucosa, continuando sin perderse en estos cuerpos finales la ley general y constante compensada, que dice: «que á la disminución en el poder rotatorio y gradual de estos cuerpos metafásicos, corresponde un aumento en el poder reductor de los mismos.»

II. **Digestión artificial.**—Se llama así, la que experimentalmente logramos en los laboratorios partiendo de agentes completamente distintos á los empleadas por la naturaleza. Así sucede que, bien por una temperatura seca de 160°, ora por una ebullición prolongada en el agua, ya final y más rápidamente por la ebullición en la potasa diluída, ó en los ácidos minerales diluídos al abrigo siempre del calor, podemos conseguir la transformación del almidón en glucosa.

De lo cual resulta que aquí no hay temperatura ordinaria, ni protoplasma acidulado, ni fermento amilasa, ni, por último, el ambiente celular de los tejidos, como en la digestión natural amilácea; y con lo cual queda bien sentado que los medios



empleados por el hombre para dar explicación experimental á estos fenómenos, no han sido, ni son, ni serán reflejo siquiera de los magistralmente ejecutados por la sorprendente y maravillosa digestión celular.

En las condiciones antedichas, sin embargo, el hombre llega á transformar el almidón, haciéndole atravesar por todas y cada una de las fases que hemos explicado, hasta llegar al estado de glucosa; hermoso adelanto realizado, que por su mucho provecho ha venido á dar un gigantesco paso á la difícil é intrincada ciencia de la química biológica.

Pero no es esto todo, sino que ejerciendo los ácidos diluídos en caliente, los mismos efectos hidrolíticos que la diastasa, se nota una diferencia manifiesta entre ésta y aquéllos, y es que los ácidos, embeben los granos de almidón dando lugar á residuos de la misma forma que ellos, y que son probablemente los esqueletos amiláceos de amilosa, por ser coloreables en rojo por el agua yodada; y la diastasa, actúa moderadamente desde la superficie del grano al centro, de modo que la parte interior de éste, todavía no atacada, conserva de ordinario la propiedad de azulear con el agua yodada.

Consignemos de paso que este proceso diferencial es más bien aparente que real, á consecuencia de no haber empleado los agentes digestivos de la amilosa insoluble, y cuyos disolventes respectivos hemos reseñado en los caracteres peculiares de esta variedad, pues de lo contrario, la disolución del almidón hubiera sido completa.

### CAPÍTULO III

#### PLASMITOS ACTIVOS (CONTINUACIÓN)—PLASMITOS EN RESERVA MATERIAS GRASAS Y MINERALES

#### 2.—Cromoplasmitos clorofílicos con otros pigmentos asociados.

Terminado el estudio de los cloroplasmitos é indicada la función más importante que en ellos há lugar durante el día, vamos á continuar el examen de los cromoplasmitos, exponiendo breves palabras respecto de otros corpúsculos citoplás-

micos, que si en esencia son verdaderos cloroplastos, se hallan encubiertos, sin embargo, de otros pigmentos colorantes.

Los cromoplastos con clorofila son, por tanto, plastos verdes ó cloroplastos cuya materia verde se halla disfrazada por otro pigmento de distinta coloración y de naturaleza albuminoidea. Este pigmento, variable según las plantas, se caracteriza por ser soluble en agua y cristizable en el alcohol; y gracias á esta propiedad, podemos en momento dado desenmascarar á los cloroplastos de la materia colorante extraña. Así sucede que sumergiendo algas rojas (*Florideas*) en el agua, al poco tiempo dicho líquido adquiere el aspecto rojizo, y las plantas en observación cambian su típico color del rojo al verde.

Estas sustancias colorantes diversas llevan los nombres de *ficocianina* (azul), *ficofeina* (pardo), *ficoeritrina* (rojo) y *ficoxantina* (amarillo), recibiendo los cromoplastos respectivamente los nombres de *cianoplastos*, *feoplastos*, *eritroplastos* y *xantoplastos*. Y como la presencia de estos corpúsculos caracteriza en cierto modo á las algas, de aquí la clasificación de éstas en armonía con su distribución batimétrica en *cianofíceas*, *clorofíceas*, *feofíceas*, *rodofíceas* ó *eritrofíceas* y *xantofíceas*.

A pesar de lo dicho, la ciencia actual considera que en algunas cianofíceas (*Oscillarias*, *Nostoc*) el color azulado que ostentan, mezcla de ficocianina, ficoxantina y de clorofila, así como el rojo de otras (algunas Bacteriáceas), debido á la bacterio-purpurina, son realmente *pigmentos difusos*, en atención á que no se observa plasto alguno é impregnan por igual dichos productos colorantes todo el citoplasma celular.

De todos modos, sea cualquiera el color que tiña al protoplasma ó á los plastos, siempre acontece que con la energía de las radiaciones absorbidas, variables, como es natural, según el color del pigmento, asimilan el carbono y engendran los hidratos de carbono necesarios para la vida de los seres, en análogas condiciones que la clorofila.

### 3.—Cromoplasmitos acolorofilcos.

Los cromoplasmitos, sin clorofila, numerosos en las flores, frutos y bastantes raíces, son corpúsculos plásmicos, cuyos matices colorantes varían del amarillo al rojo.

Proceden de cuerpos clorofilcos cuya materia verde desaparece alimentando el proceso generativo del pigmento especial, como sucede en las flores y frutos, ó también, de plasmitos incoloros ó amiloplasmitos que elaboran directamente la substancia colorante respectiva, como ocurre en las raíces.

Unos y otros producen almidón (fig. 109, *n*) que es utilizado para la formación del pigmento; de modo que en estos corpúsculos, lo mismo que en los cloroplasmitos, es constante la *reabsorción de dicho hidrato de carbono á medida que los cromoplasmitos se organizan.*

Además, como todas estas coloraciones amarillas ó rojizas corresponden á la serie *xántica*, sus disoluciones en el ácido sulfúrico aparecen con un color azul violado; mientras que los pigmentos disueltos en el jugo celular, violetas azules ó rosados, pertenecientes á la *serie ciánica*, los ácidos los disuelven tomando la coloración roja.



Fig. 109.—Cromoplasmitos.—*a, b*, del fruto del *Asparagus*; *c, d*, del fruto joven y adulto respectivamente de la madreselva (*Lonicera caprifolium*).—De la calabaza (*Cucurbita pepo*): *e*, plasmito con gránulos pigmentarios amarillos; *f*, plasmito con pigmento periférico; *g*, plasmito con espiral amarilla y mancha verde en el centro; *h*, cristalito amarillo á un lado del plasmito verde y provisto de dos granillos de almidón; *i*, formas parecidas á la anterior con plasmito incoloro; *j, l*, láminas cristalinas en el plasmito incoloro; *k*, espiral pigmentada separada del plasmito.—Fruto del *Lycopersicon pyriforme*: *m*, cromoplasmito con grano de almidón del fruto no maduro y cristales de pigmento rojo; *n*, plasmito amarillo con almidón y cristal estrellado coloreado; *t*, cromoplasmitos adultos amarillos con pigmento cristalizado sin almidón (Courchet).

El pigmento de los cromoplasmitos, unas veces impregna al corpúsculo plásmico, afectando entonces el aspecto *amorfo* (*Senecio*, *Primula*) ó *granular* (corola del Crisantemo, *Belladonna*); y otras *crystaliza* en el interior del mismo (agujas cristalinas de los frutos del tomate y madreelva). Y como es frecuentísimo en este último caso, que todo el corpúsculo plásmico adquiera el aspecto vagamente cristalino, de aquí que po-

damos denominar á estos cromoplasmitos así cristalizados, con el nombre de *cromocristalitos* (fig. 109, *b d*).



Fig. 110. — I, célula epidérmica del pétalo joven del *Ranunculus anemonefolius*; a, cromoplasmitos amarillos con el cristaloiide bacilar interior incoloro. — II, la misma célula después de la antesis; b, cromoplasmito amarillo; c, cristaloiide (Courchet).

En las flores, los cromoplasmitos amarillos generalmente y de contornos variadísimos, afectan las formas granular (pétalos del crisantemo), fusiforme (pétalos de la capuchina), cilíndrica (pétalos del *Ranunculus anemonefolius*, etc.) (fig. 110). En los frutos son también multiformes los cromoplasmitos, y los colores más comunes que

presentan pueden ser: amarillo (pulpa de la calabaza), rojo (pulpa del tomate) (fig. 109, *t*), amarillo anaranjado (pericarpios de la madreelva y del rosal). Y por último, en las raíces, son observados cromocristalitos de formas y colores diversos, siendo anaranjados en la zanahoria, y rojos en la remolacha.

#### AMILOPLASMITOS

Son así llamados, los plasmitos incoloros, esféricos ó fusiformes que se hallan en las células vivas de los tejidos ó órganos normalmente desprovistos de clorofila (raíces terrestres, rizomas, estambres, albumen de semillas, etc.) (figs. 111, 112 y 113).

El papel fisiológico más importante de estos amiloplasmitos es la fabricación del almidón. Este se acumula preferentemente en el interior de dichos corpúsculos, bajo la forma de gránulos, en los que se percibe con toda claridad la estructura con-

céntrica anteriormente estudiada, como puede verse en el albumen de la semilla del *Melandrium macrocarpum*.

Si bien no es fácil predecir el proceso bioquímico por el cual pasa la elaboración de almidón, se supone, sin embargo, que dicha producción amilácea se efectúa de dos maneras: bien á expensas y por deshidratación de los productos orgánicos (glucosas) procedentes de los órganos verdes, á consecuencia de la función clorofílica y transportados á los amiloplasmitos en el curso de la circulación; ya por oxidación de los alcoholes resultantes en los múltiples desdoblamientos que en las células tienen lugar en contacto de las zimazas, los cuales, transformados en aldehidos y éstos á su vez polimerizados, se traducen en glucosas y, por tanto, en almidón.

Los cloroplasmitos de las células en ausencia de la luz, se comportan ó conducen como los amiloplasmitos. Así resulta que hojas de judías, guisantes, etc., privadas de

almidón por una estancia prolongada en la obscuridad, reconstituyen dicha reserva sin más que sumergir dichos órganos apendiculares en una solución azucarada.

En fin, toda la reserva de almidón almacenada en grandísima cantidad, tanto en los tubérculos de la patata, como en la raíz de *Ficaria* y otros muchísimos órganos subterrá-

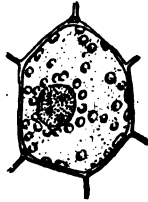


Fig 111.—Célula joven con amiloplasmitos sin almidón del rizoma del *Polygonatum vulgare*.

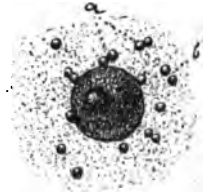


Fig 112.—Amiloplasmitos de la patata próximos al núcleo.—a, en período de división; b, divididos.



Fig. 113.—Disposición de los amiloplasmitos fusiformes alrededor del núcleo de una célula de la medula del *Phajus grandifolius* con los granillos de almidón producidos.

neos, procede de la actividad secretora de los amiloplasmitos.

Ahora bien: estos corpúsculos incoloros, á causa de su excesiva pequeñez, necesitan de una parte, para ser observados al microscopio, de objetivos de apertura numérica relativamente grande; mas como, por otra, se confunden con multitud de granulaciones y cuerpos extraños anidados en el citoplasma general, los citólogos recurren para delatarlos á los reactivos colorantes.

Para ello, en una disolución de violeta de genciana, casi incolora de puro diluída, se tienen sumergidos los cortes por espacio de veinticuatro horas. Al cabo de este tiempo, los amiloplasmitos se empapan poco á poco de la materia colorante, y ora sueltos, bien acoplados á los granos de almidón por ellos elaborados, se hacen claramente perceptibles en las preparaciones micrográficas, á pesar de la dosis homeopática de la substancia tintórea disuelta.

#### ELEOPLASMITOS

Son corpúsculos citoplásmicos frecuentemente más voluminosos que el núcleo, encargados de elaborar productos oleaginosos que, después de formados, quedan impregnando la masa reticular del plasmito generador, aunque excepcionalmente lo abandonan, destacándose por exudación en forma de gotitas.

No tienen la importancia de los otros plasmitos, y su presencia en las células vegetales no es constante, estando localizados cuando aquélla tiene lugar en las capas externas del órgano vegetal.

En las células epidérmicas de la hoja de la *Vanilla planifolia* (orquídea *Epidendra*) (fig. 114, B) y las del manto de sus jóvenes raíces, hay eleoplasmitos reconocibles, tanto por su forma irregular, como por el aceite que contienen en su masa, el cual, por la acción del ácido pícrico ó el calor, se deposita en la superficie de aquéllos.

Se encuentran también eleoplasmitos en las hojas de *Agave*, *Funkia*, *Iris*, *Vallisneria*, *Mesembrianthemum*, etc., y de la *Jungermannia (Hepatica)* (fig. 114, A); y son curiosísimos los de la epidermis del periantio de algunas flores, como el *Ornithogallum umbellatum*, por estar dispuestos en grupos

alrededor del núcleo y encerrar gotas aceitosas que se fusionan por el calor.

En ningún caso estos excepcionales corpúsculos protéicos y epidérmicos son productores de aceite como material de reserva, puesto que desaparecen por completo en la planta adulta, como sucede en la Vainilla.

No es extraña la existencia de los eleoplasmitos en las células vegetales, de recordar ó tener en cuenta que los cloroplas-

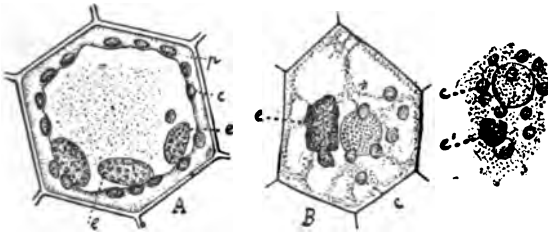


Fig. 114.—Eleoplasmitos.—A, célula de *Jungermannia* (Hepática): *p*, protoplasma parietal; *c*, cloroplasmitos; *e*, eleoplasmitos.—B, célula de la *Vanilla planifolia*: *c*, cloroplasmitos; *e*, eleoplasmito de la hoja joven; *e'*, eleoplasmito en regresión de hoja adulta con gota de aceite exudada.

mitos en algunos casos son elaboradores de aceite, al mismo tiempo que forman el almidón, como acontece en los *Cereus*, *Rhipsalis* (véase pág. 118). Los cloroplasmitos voluminosos de las Desmidiáceas y de las *Zygnemas* exudan de sus bordes innumerables gotitas de aceite.

#### HIDROPLASMITOS

Al lado de los plasmitos, cuya pared y contenido son esencialmente protoplásmicos, el citoplasma fundamental origina en su seno otros corpúsculos totalmente distintos y tan necesarios como aquéllos para la vida de la célula. Estos corpúsculos, denominados *hidroplasmitos*, se hallan constituidos por cavidades, vesículas ó vacuolas llenas de un jugo ácido que lleva en disolución diversos principios, envueltos además de una membrana propia y resistente, es decir, de una capa hialina, viva é impermeable á gran número de substancias minerales y colorantes, que, en consonancia, en nombre y función, con la

que circunda al protoplasma, recibe el nombre de *tonoplasma*.

Dichos hidropasmitos, como más adelante indicaremos al estudiar el jugo celular, pueden crecer, dividirse y fusionarse, dando lugar en general, y principalmente en las células adultas, á un solo hidropasmito que abarque por sí solo toda la cavidad celular; pero lo que en cierto modo interesa por ahora saber de ellos, es que desempeñan funciones de transcendental importancia en la nutrición y crecimiento de la célula.

En efecto: mirados ú observados desde el punto de vista físico, son los hidropasmitos verdaderos almacenes ó depósitos de donde el protoplasma, núcleo y demás plasmitos se surten de agua y de sustancias disueltas para su formación y crecimiento; son también, á consecuencia de lo dicho y de las propiedades osmóticas del jugo ácido que encierran, corpúsculos dilatables, que atrayendo el agua del exterior y aumentando de volumen, ejercen de este modo de dentro afuera, sobre el protoplasma y la membrana una presión creciente que puede llegar á varias atmósferas; y como la presión del contenido en todo momento se equilibra con la resistencia elástica de la membrana celular, determinan una tensión especial, resultante de ambas fuerzas, que se denomina *turgescencia celular*, deduciéndose de lo manifestado que los hidropasmitos son los agentes de turgencia, y, por tanto, los factores principales de absorción é intermediarios entre el citoplasma y el exterior.

Si fijamos nuestra atención en sus actividades químicas, los hidropasmitos, como los cromoplasmitos y eleoplasmitos, son generadores de sustancias de naturaleza muy diversa en sus relaciones con el citoplasma. Así acontece que unos forman principios albuminoides disueltos en el líquido vacuolar, algunos de los cuales pueden cristalizar más tarde, y se llaman hidropasmitos albuminoideos; otros son diastásicos, por encerrar diastasas en disolución y por servir de retortas y recipientes á los productos resultantes de la acción de dichas zimasas; otros forman principios colorantes que tiñen el jugo celular de las vacuolas; otros, amidas y alcaloides; otros, hidratos de carbono como azúcares, dextrina, gomas, inulina, etc.; otros, glucósidos; otros, taninos; otros, ácidos orgánicos como el ácido oxálico, que, combinándose con la cal, cristaliza dentro de la vacuola, dando lugar á los hidropasmitos oxalíferos, ó como el ácido glicero-fosfórico que se combina con la



cal y la magnesia, formando los esfero-cristales; otros, sulfato de cal, etc.

Mas no termina aquí el proceso vital de los hidropasmitos, pues en ocasiones, según las condiciones de medio y el fin para que han de ser destinados, se transforman, sin perder esencialmente ninguno de sus elementos componentes, en otros hidropasmitos desecados y contraídos, que con el nombre de plasmitos en reserva atraviesan más ó menos tiempo un período de vida latente, esperando de este modo influencias externas favorables, con las cuales se reintegren totalmente del aspecto y configuración que antes tenían en sus manifestaciones de franca actividad.

#### PLASMITOS EN RESERVA

Como consecuencia de lo anteriormente dicho, son estos plasmitos, corpúsculos condensados de citoplasma, que en situación de reserva, como su nombre lo indica, se hallan al estado insoluble en determinados órganos para que, previo el paso á solubles por los fermentos y las influencias de medio favorables, sirvan de alimento á las células donde se encuentran y á la planta en general.

Entre ellos estudiaremos principalmente los *granos de aleurona* ó de gluten, y los *cristaloides* en general.

#### GRANOS DE ALEURONA

**Origen.**—En el período de formación de las semillas de las Fanerógamas, las células del albumen y del embrión contienen siempre numerosos hidropasmitos que se multiplican por bipartición. Estos hidropasmitos producen y acumulan en sus vacuolas materias albuminoideas, algunas de las cuales cristalizan con el tiempo, constituyendo un cristaloides más ó menos voluminoso. Mas en el momento de madurar las semillas, ó sea cuando, perdiendo la mayor parte del agua, pasan gradualmente al estado de vida latente, los hidropasmitos se contraen por la misma causa, y la materia albuminoidea contenida en las vacuolas se solidifica alrededor del cristaloides ó cristaloides

previamente formados, quedando el todo encerrado por la envuelta primitiva del hidroplasmio.

Los granos de aleurona, según esto, no son otra cosa que hidroplasmios albuminíferos desecados.

Además, como estos granos abundan principalmente en las semillas oleaginosas, en las cuales constituyen evidentemente reservas nutritivas para desarrollos ulteriores, son, desde este punto de vista, factores esenciales para la vida de las plantas. Por esta razón sólo encontramos estos granos en las semillas, pues estos órganos son los únicos que, pasando al estado de vida latente, pierden el agua necesaria y generan completamente los hidroplasmios albuminíferos, originando la aleurona.

He aquí por qué en la germinación de las semillas los granos de aleurona absorben agua que disuelve primeramente la materia albuminoidea amorfa contraída sobre el cristaloides ó cristaloides, hinchándose y reintegrándose poco á poco la vacuola hidrolásmica del volumen que tenía; y como más tarde el cristaloides se redisuelve á su vez y del mismo modo, el resultado final es que se reconstituyen los hidroplasmios en igual número y en las mismas posiciones que tenían antes de la maduración de las semillas.

Los granos de aleurona son, por consiguiente, una forma transitoria y pasiva de los hidroplasmios albuminíferos, en relación con la vida latente de la semilla, y los caracteres ó propiedades que presentan son los siguientes:

**Caracteres.**—Son corpúsculos más ó menos redondeados de 1 á 50  $\mu$ , que se acumulan de preferencia en las semillas donde hay poco almidón; constituyendo la reserva azoada por excelencia. Algo desarrollados en el albumen (ricino, etc.) y en los cotiledones (altramuz), son; en cambio, muy reducidos en la radícula, plúmula y yemecita del embrión.

Se encuentra asociada la aleurona muy frecuentemente con el almidón, como sucede en las células cotiledonares de la *Faba vulgaris* antes de su madurez, y es fácil hacerla perceptible en todo corte, sin más que la acción previa de una solución alcohólica de bicloruro de mercurio, en la cual la aleurona queda al estado insoluble. Adicionando en estas condiciones yodo, este reactivo tiñe de amarillo á la aleurona por ser corpúsculo citoplásmico, y en azul el almidón. Con la fuchsina, la aleurona se colorea en rojo.

La aleurona es atacada por el agua; se disuelve en una solución de potasa poco concentrada, y es soluble en el alcohol, éter, ácidos grasos, etc.

Para obtener aislados los granos de aleurona, se cortan en pequenísimos fragmentos semillas oleaginosas (ricino, lino), desembarazadas de sus tegumentos; se lavan con aceite y tamizan finamente, y se deja en reposo el resultado. Al cabo de algunas horas los granos de aleurona se posan en el fondo del vaso; decantando y lavando con éter para eliminar el aceite, quedan con el aspecto de un polvo blanco.

**Estructura.** — Redondeados ó poliédricos, é incoloros ó amarillos generalmente, los granos de aleurona pueden ser *completos* é *incompletos*.

Los *completos* están constituidos por tres partes: 1.<sup>a</sup>, una *membrana envolvente*, hialina y muy delgada; 2.<sup>a</sup>, una *substancia fundamental* amorfa cuya presencia es constante; y 3.<sup>a</sup>, incluidos en ella *crystaloides aleúricos, globoides*, y como accesorios, algunas veces, *crystaloides de oxalato de cal*.

En las semillas del ricino (fig. 115), del lino (fig. 116) y de la *Bertholletia*, la aleurona contiene como inclusiones *crystaloides* y *globoides*; en la *Æthusa* y en la *Vid* aparecen, además de éstas, *crystaloides*, con la particularidad que en esta última se presentan encerrados por la masa del *globoides*.

Son *incompletos* aquéllos que carecen de una ó las dos in-

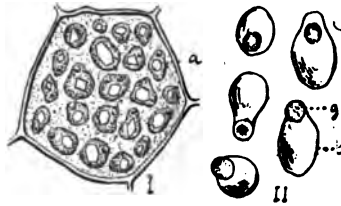


Fig. 115.—I, célula del albumen del ricino: a, granos de aleurona con cristaloides y globoides.—II, granos aislados observados en aceite: g, globoides; s, substancia fundamental amorfa (el cristaloides es invisible).



Fig. 116.—a, grano de aleurona de la semilla del lino con cristaloides y globoides; b y c, el mismo durante la germinación, mostrando la fragmentación del cristaloides.

Son *incompletos* aquéllos que carecen de una ó las dos in-

clusiones anteriormente citadas como esenciales, de donde se infiere que el grano incompleto más simple es el reducido á la substancia fundamental (altramuz, haba (fig. 117), trigo, peonía). Puede ésta ir acompañada solamente de globoides (cotiledón del *Lupinus varius*, albumen del *Coriandrum sativum*), de cristaloides (*Scorzonera hispanica*) ó de cristales (*Scorzonera* (fig. 118), *Coriandrum*). Según se deduce de estos ejemplos, distintos granos incompletos pueden coexistir entre sí y con los completos dentro de una misma planta. Y aun cuando á la presencia de un cristaloides está subordinada por lo regular la de un globoides, puede citarse como una excepción el albumen de la *Aethusa*, en el que el cristaloides va acompañado de un cristal.



Fig. 117.—Célula cotiledona del haba antes de la madurez.—a, granos de aleurona reducidos á la substancia fundamental; b, hidropasmitos con jugo celular; c, almidón de reserva.

de cristaloideos (*Scorzonera hispanica*) ó de cristales (*Scorzonera* (fig. 118), *Coriandrum*). Según se deduce de estos ejemplos, distintos granos incompletos pueden coexistir entre sí y con los completos dentro de una misma planta. Y aun cuando á la presencia de un cristaloides está subordinada por lo regular la de un globoides, puede citarse como una excepción el albumen de la *Aethusa*, en el que el cristaloides va acompañado de un cristal.

α. **Substancia fundamental.**—Es la masa albuminoidea esencial y característica del grano de aleurona. Encerrada por la membrana hialina envolvente nunca falta, y por eso constituye la materia fundamental del grano. Se disuelve con facilidad en los álcalis diluídos; unas veces es soluble en el agua (semillas de umbelíferas y ricino), y otras inso-

lubles, como acontece en diversas leguminosas (altramuz (véase fig. 119), haba) y gramíneas (trigo). En este último caso, subsiste en dicho líquido bajo la forma de una masa esponjosa vacuolar y reticulada (fig. 120), constituida por un prin-

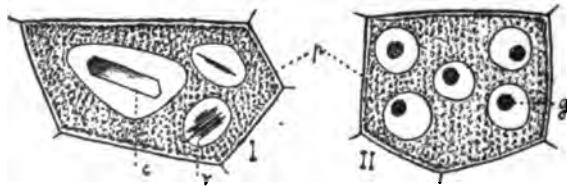


Fig. 118.—Células cotiledonares antes de madurar de la *Scorzonera hispanica*.—I: p, protoplasma con aceite emulsionado; c, cristal de oxalato de cal; r, rafides de la misma substancia.—II: g, globoides de los granos de aleurona (según Bakker).

lubles, como acontece en diversas leguminosas (altramuz (véase fig. 119), haba) y gramíneas (trigo). En este último caso, subsiste en dicho líquido bajo la forma de una masa esponjosa vacuolar y reticulada (fig. 120), constituida por un prin-

cipio llamado *conglutina* (leguminosas) ó *gluten* (cereales).

Los albuminoides aleúricos encierran azufre y una pequeña proporción de ácido fosfórico (conglutina) en combinación inestable, y á esto se debe que en los primeros fenómenos de la germinación quede al estado libre. Este azufre es más abundante en la avena y en el trigo que en las leguminosas. En éstas es general que el azufre se halle al estado de sulfatos.

Para preparar la *conglutina*, se trata el polvo de la semilla del *Lupinus albus*, muy rico en dicha substancia, por potasa muy diluída, hasta que la mezcla manifieste débil reacción alcalina; el líquido después de reposado se filtra por un lienzo, y el precipitado granuloso muy abundante que se produce tratando el líquido claro resultan-

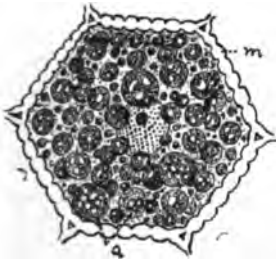


Fig. 119.—Célula del parénquima de los cotiledones del *Lupinus albus*.—*m*, membrana con espesamientos de celulosa en reserva y con puntuaciones; *a*, granos de aleurona con vacuolas vistos en el agua. En el centro de la célula se ve el núcleo.

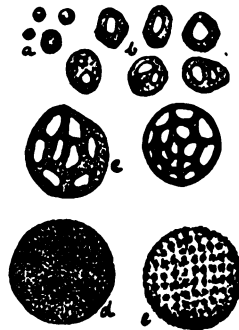


Fig. 120.—Formación de los granos de aleurona en la semilla del altramuz.—*a*, granos jóvenes de aleurona llenos de substancia fundamental; *b* y *c*, granos adultos casi maduros con vacuolas.—Granos de aleurona de la judía: *d*, grano intacto; *e*, el mismo reticulado visto en el agua.

te con el ácido acético, es la conglutina. Puede obtenerse también colocando en maceración la harina de una legumbre en agua á 40°, á fin de formar una emulsión que se filtra por un lienzo. Dejando depositar la fécula, queda en el líquido claro la conglutina, que se precipita añadiendo al líquido ácido acético.

El *gluten* de los cereales es insoluble en agua y substancia perfectamente plástica, pudiendo separarse fácilmente malaxando entre los dedos debajo de un pequeño chorro de agua una cierta cantidad de harina de trigo. De este modo el agua separa el almidón, y queda en

la mano al cabo de poco tiempo una masa gris y elástica que deseca da es el **gluten** (1).

El gluten encierra dos substancias distintas: la *glutenina* ó *gluten-caseína*, principio inerte, comparable á la conglutina y que no se hincha en el agua, y la *gliadina* ó *gluten-fibrina*, principio aglutinante que liga la harina y contribuye á la hinchazón de la pasta bajo la acción de la levadura.

Se aíslan estos dos compuestos, diluyendo 200 gramos de gluten fresco en un litro de una solución de potasa al 3 por 1.000, y se añade á la mezcla alcohol puro hasta obtener una concentración de 70°. Neutralizado el líquido con el ácido sulfúrico, el precipitado que se produce es la *glutenina* (conglutina). En el líquido excedente queda disuelta la *gliadina*, la cual se obtiene bajo la forma de una masa pastosa por evaporación de aquél.

**αα. Inclusiones.**—Las substancias incluídas en la masa fundamental de la aleurona pueden ser: *aleuro-cristaloides*, *globoides* y *cristales de oxalato de cal*.

**Aleuro-cristaloides** (2).—Son porciones albuminoides de la substancia fundamental aleúrica de contorno geométrico ordinariamente regular: con el yodo se tiñen de amarillo, y en presencia del agua ó una solución muy diluída de potasa, se hinchan modificando los ángulos, lo que no sucede con los cristales minerales. Cuando existen, en general van acompañados de globoides. Se presentan ordinariamente en formas tabulares romboidales (*Æthusa*) y romboidales, exagonales ú octogonales, como en el ricino.

**Globoides.**—Son redondeados ó mamelonados, insolubles en el agua, alcohol y la potasa, y se disuelven en todos los ácidos minerales diluídos. Con la solución amoniacal de fosfato amónico, desaparecen y se forman cristales de fosfato amónico magnésico, que indica el magnesio en los globoides. Contienen también calcio, porque con el oxalato amónico, en vez del fosfato, los globoides desaparecen y en su lugar se forman

(1) En el maíz y la avena, pobres en principios aglutinantes, no puede extraerse el gluten del modo antedicho.

(2) Designamos con este nombre los cristaloides que se forman en el interior de la substancia fundamental de los granos de aleurona; á diferencia de los otros cristaloides que, constituidos por condensaciones del citoplasma general de la célula, se hallan libres en la misma, como sucede en la hoja de la *Passiflora cerulea*, en el tubérculo de la patata, etc.

cristales de oxalato de cal. Además, por incineración se demuestra la presencia del ácido fosfórico combinado con otro ácido orgánico que parece ser el ácido glicérico ó el ácido sácarico. De aquí que resulte que la substancia de los globoides sea un glicero-fosfato ó un sacaro-fosfato de magnesio y calcio.

El origen hipotético de estos corpúsculos parece ser el siguiente. Los aceites que abundan en las semillas donde se presentan estos granos, son combinaciones del alcohol tridinamo (glicerina) con el ácido oléico, es decir, que son éteres más condensados, que los formados por los alcoholes con ácidos orgánicos no grasos y que se encuentran en los frutos y en otros órganos vegetales: no es de extrañar entonces, que bajo la acción de estos aceites con los álcalis, sacarosas y fosfatos del citoplasma, pueden resultar los globoides.

En efecto: los álcalis saponifican los aceites (como todas las grasas en general), dejando libre la glicerina y formando oleatos de cal y magnesia solubles. La glicerina ó la sacarosa con los fosfatos solubles de los hidroplasmitos celulares, se combina con aquellos oleatos, para en definitiva constituir el glicero ó sacaro-fosfato de magnesio y calcio, que son los globoides.

Así formados, la disolución protéica más ó menos espesa de la vacuola se contrae á consecuencia de la desecación de la semilla, y he aquí por qué aparecen en el interior de la substancia fundamental del grano de aleurona dichos globoides.

**Cristales de oxalato de cal.**—Se encuentran incluidos á veces en la aleurona cristales de esta substancia, bien en prismas ó en agujas sueltas ó reunidas, llamadas *rafides* (células de los cotiledones de la *Scorzonera*), y también en *maclas* ó *drusas*, es decir, conjunto de cristales prismáticos dispuestos radian-tes alrededor de un centro (*Phellandrium aquaticum*, *Coriandrum*), y cuyas formas corresponden al tercero y quinto sistemas de la clasificación cristalográfica moderna, según veremos más adelante.

Ahora bien: como todas las partes del grano de aleurona son solubles en el agua, se hace preciso para observarlos evitar el contacto de este líquido, de aquí la razón de colocar los cortes en el aceite, glicerina ó solución alcohólica de bicloruro de mercurio.

Si en vista de esto preparamos los cortes del albumen de ricino en glicerina concentrada, notaremos que las células

abundan en granos de aleurona, los cuales se presentan con el aspecto de corpúsculos ovoideos y grises, y en los que se distingue perfectamente la masa albuminoidea y frecuentemente el globoide en una de sus extremidades (fig. 121, *a*). En cuanto al cristaloides, si existe, está completamente enmascarado por la substancia albuminoidea fundamental que lo envuelve.

Para desenmascararlo, es decir, para destacar el cristaloides de la masa fundamental, basta calentar ligeramente la preparación, en cuyo caso se perciben con toda claridad las tres partes constitutivas del grano de aleurona (fig. 121, *b*), hallándose

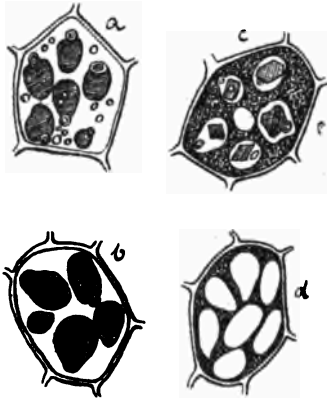


Fig. 121.—Diferentes aspectos de los granos de aleurona del ricino según los reactivos empleados.

los huecos ó vacuolas que ocupaban las porciones disueltas (fig. 121, *d*).

el cristaloides y el globoide envueltos por la materia amorfa albuminoidea.

Si montamos ahora el corte en glicerina acuosa, siendo la masa fundamental mucho más soluble que el cristaloides y el globoide, desaparece por su mayor solubilidad, quedando en su lugar una vacuola en la cual flotan el globoide y el cristaloides (fig. 121, *c*).

Y por último, si el corte se observa montándolo en agua acidulada con ácido sulfúrico, tan sólo persisten en los granos de aleurona

#### CRISTALOIDES Ó ALBUMINOIDES CRISTALIZADOS

Son corpúsculos citoplásmicos de contorno geométrico regular que se hinchan con el agua, modificando en algunos casos los ángulos. Este aumento de volumen se opera con uniformidad en los cristaloides cúbicos según los ejes, y desigualmente en los otros sistemas; debiendo advertir que, aun cuando se modifiquen los ángulos, nunca se quebranta la si-



metría óptica del cristal. Como el agua de imbibición no se reparte con igualdad á través de la masa cristalóide, su distribución desigual determina capas alternativas del exterior al interior más y menos densas, resultando siempre que la película periférica es de mayor densidad que el resto de la substancia. Fijan enérgicamente las materias colorantes con las mismas reacciones que la masa citoplásmica general, se hinchan en una solución muy diluida de potasa, y se disuelven por completo en las soluciones alcalinas algo más concentradas, ácidos diluidos, agua salada y en agua á la temperatura de 45°.

Esta constitución particular, distinta de la de los cristales ordinarios, ha hecho que sean llamados cristaloides.

Pueden dividirse en cristaloides *activos* ó simplemente *cristaloides*, y de *reserva* ó *aleuro-cristaloides*, según sean productos activos que se forman y se eliminan á medida de las necesidades de la planta en el citoplasma de las células jóvenes; ó productos de reserva que se constituyen en los granos de aleurona, y con éstos se almacenan en las células de aquellos órganos, que, como las semillas, pasan de la vida activa á la latente.

Los *cristaloides activos* se hallan libres en el citoplasma, incluidos ó adosados en los plasmitos y excepcionalmente en el núcleo.

a) Los cristaloides libres y nacidos directamente en el citoplasma, se encuentran principalmente en las capas periféricas de los órganos. Pueden ser observados hasta cinco cristaloides libres ó geminados en el parénquima cortical y liberiano del tallo del *Solanum tuberosum*, en el interior de las células pobres en almidón debajo de la capa suberosa (tubérculo de la patata) (fig. 122), en los pelos de los brotes tiernos y no verdosos de muchas plantas, y también en la hoja de la *Passiflora cœrulea*.

Aun cuando la forma-tipo de estos cristaloides es ordinariamente cubos perfectos (fig. 123), y rara vez octaedros y tetraedros como formas derivadas, sin embargo, pueden citarse



Fig. 122.—Dos células del tubérculo de la patata con granos de almidón.—a, cristalóide de forma cúbica.

como excepción, los cristaloides octaédricos birrefringentes de las algas rojas ó florídeas, y los tabulares irregularmente exagonales en los tubos esporangíferos de las Mucoríneas (fig. 124).

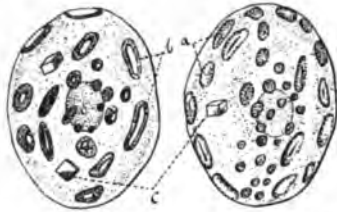


Fig. 123.—Células del tubérculo de patata en periodo de desarrollo produciendo clorofila.— a, cloroplastos completos sin almidón ó sólo con trazas de él; b, cloroplastos con restos de almidón; c, cristaloides cúbicos.

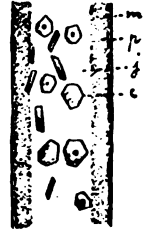


Fig. 124.—Cristaloides del tubo esporangífero de *Mucor*.— m, membrana; p, protoplasma parietal; j, jugo celular; c, cristaloides incluidos.

b) A veces los cristaloides están localizados en los *cloroplastos* (*Acanthephippium silhetense*) (fig. 125), ó aplicados sobre ellos (*Phajus grandifolius*) (fig. 126), y también en los cromoplastos no verdes (*Ranunculus anemonefolius*) (véase fig. 110).

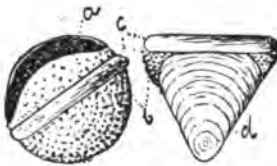


Fig. 125.—*Acanthephippium silhetense*.— c, cristaloides; b, protoplasma granuloso; a, almidón con hilo excéntrico.

Fig. 126.—*Phajus grandifolius*.—d, almidón con hilo excéntrico.

En las algas pardas, rojas, y sobre todo en las verdes, los cloroplastos encierran uno ó varios corpúsculos incoloros, alrededor de los cuales se agrupan los granos de almidón, y que han recibido el nombre de *pirenoides*. Estos corpúsculos parecen ser cristaloides de forma octaédrica aplastada simulando un contorno circular (fig. 127). (Véanse además figs. 86, 87 y 88.)

c) En cuanto á los cristaloides del núcleo, son particularmente numerosos en diversas Criptógamas vasculares, como en la hoja de ciertos helechos (*Polypodium venosum*, *P. loricum*) que afectan la forma de cubos ó dodecaedros, así como

en algunas Dicotiledóneas (*Melampyrum arvense*), donde se encuentran muy desarrollados.

Los *crystaloides aleúricos* se hallan encerrados en los granos de aleurona y se encuentran en las semillas (ricino, lino, *Bertholletia excelsa*, etc.)

Son crystaloides en reserva y pueden ser estudiados y extraídos separadamente por los dos procedimientos antedichos, es decir, lavando con aceite ó éter el tejido previamente pulverizado: ó por medio del calor, haciendo que se destaquen en los cortes del órgano que se estudie previamente sumergidos en el aceite, glicerina ó solución alcohólica de bicloruro de mercurio.

Aconsejamos los granos de aleurona de la *Bertholletia*, por ser los mayores crystaloides conocidos.

Respecto á cristalización, los crystaloides aleúricos se agrupan á dos tipos que se excluyen ó que no coexisten jamás en una misma familia ni en familias vecinas (Van Tieghem). Unos son monorrefringentes, presentan la hemiedría tetraédrica del cubo (ricino, lino), y son solubles en el agua salada, en los ácidos y en la potasa diluída. Los otros son birrefringentes uniáxicos, y ofrecen la hemiedrica romboédrica del sistema exagonal. Estos son mucho más abundantes en las células vegetales (*Bertholletia*, *Papaveráceas*, *Fumariáceas*, *Labiadas*, *Solanáceas*, *Campanuláceas*, *Coníferas*, etc.), y son insolubles en el agua salada, amoníaco y ácidos diluídos, y solubles en la potasa diluída ó poco concentrada.

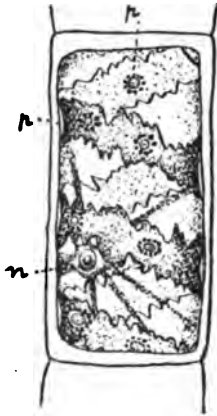


Fig. 85.—Célula de *Spirogyra* con su cloroplasto en espiral.—n, núcleo; p, pirenoides con corona de granillo de almidón.

## MATERIAS GRASAS

Son sustancias que el citoplasma produce y acumula para constituir *reservas nutritivas*, destinadas á ser reasimiladas por los órganos que las contienen, en el curso de desarrollos

ulteriores (germinación de semillas oleaginosas). En algunos casos, sin embargo, son completamente inútiles y representan verdaderos *productos de excreción*, como en el pericarpio del olivo y de otros diversos frutos (*Cornus mas*, *C. sanguinea*).

Las grasas vegetales son de dos clases: *líquidas ó aceites*, y *sólidas ó mantecas*. Consisten en una mezcla en proporciones variables de *éteres de la glicerina*, es decir, combinaciones de ácidos orgánicos variables y *grasos*, todos *monovalentes*, de fórmula  $C_n H_{2n} O_2$ , con un *alcohol trivalente* constante, la glicerina ( $C_3 H_8 O_3$ ).

Los principales *cuerpos grasos* que mezclados en proporciones diversas constituyen los aceites y mantecas vegetales, son: la *margarina ó palmitina*, *estearina*, *oleína*, *laurina* (manteca del laurel), la *miristina* (manteca de la nuez moscada). La estearina y margarina, que son sólidas, dominan en las mantecas; la oleína en los aceites.

Se disuelven en el alcohol hervido, en el éter, bencina. sulfuro de carbono y esencia de trementina. Exceptuando el aceite de ricino, que es soluble en el alcohol frío, todas las demás materias grasas son poco ó nada solubles en este líquido.

Las *mantecas* tienen la consistencia de las grasas animales, se presentan en agujas ó granos, necesitan una temperatura de 30° por lo menos para fundirse, y se extraen comprimiendo en caliente los tejidos que las contienen. Las más importantes son: la *manteca de moscada*, de color rojo pardo (albumen de la semilla de la *Myristica fragrans*); *manteca de cacao*, blanca (embrión del *Theobroma cacao*); *manteca de coco*, blanca (albumen del *Cocos nucifera*); *manteca del laurel*, verde (elaborada por las bayas del *Laurus nobilis*).

Los *aceites* son líquidos á la temperatura ordinaria; observados al microscopio se presentan en gotas de un gris claro, bordeadas de un anillo obscuro que desaparece bajando lentamente el tubo de dicho instrumento. Se congelan hacia 0° (aceite de olivas y ricino) ó á una temperatura más baja (—21°) (aceites de avellanas y de almendras dulces). Se extraen directamente comprimiendo los tejidos que los encierran y filtrando el producto obtenido.

Aun cuando el aceite es elaborado por los eleoplasmitos de las células jóvenes de algunas hojas (véase págs. 142 y 143),

donde con más abundancia se hallan es en los frutos, en los cuales las gotas oleaginosas toman origen y crecen en la substancia misma de la red citoplásmica, esparciéndose en el jugo de las vacuolas cuando la fina película albuminoidea que las contiene se rompe, de modo que el aceite se presenta como emulsionado en el citoplasma.

De los frutos, las semillas son principalmente portadoras de estas grasas, ya en los cotiledones (almendro, cacahuet, nuez, mostaza, lino, etc.), ya en el albumen (ricino, crotón, adormidera), y representan en ambos casos, una *reserva nutritiva* fundamental. En cambio, el aceite almacenado por los pericarpios de algunos frutos, como por ejemplo la aceituna (que rico en manita en su juventud, se llena de aceite en la madurez), no sirve para el incremento orgánico, es decir, que es inútil para la planta, y, por tanto, considerado como producto excrementicio.

Son utilizadas las materias grasas, sufriendo antes la hidratación consiguiente gracias á la intervención del fermento *saponasa*. A consecuencia de estas transformaciones ó descomposiciones, resultan los ácidos grasos y glicerina; pero como todavía no se ha reconocido la presencia de esta substancia, que tiene lugar, como sabemos, en toda saponificación química, se deduce ó supone que á medida que la glicerina se engendra, se une á los principios nitrogenados de la plantita recién nacida por germinación para constituir los albuminoides, ó también (pues para ello es susceptible la glicerina como alcohol que es) fija oxígeno y se transforma en aldehído, y éste á su vez, polimerizándose, en glucosa y almidón. Tan lógico es esto, que precisamente las plantitas recién nacidas de semillas oleaginosas y desprovistas de reserva amilácea, son particularmente ricas en almidón transitorio.

Para reconocer las grasas al microscopio una vez obtenidas las secciones ó cortes de órganos, se emplean los procedimientos siguientes:

1.º Se diferencian las gotas de aceite de las burbujas de aire, con las cuales pudieran confundirse, porque el anillo negro de las primeras, cuando el tubo del microscopio desciende, se debilita y desaparece, sucediendo lo contrario en las burbujas de aire.

2.º El ácido sulfúrico reúne las gotas pequeñas de aceite en

otras más gruesas, así como la mezcla de alcohol y éter las divide y hace más pequeñas.

3.º Con la tintura de Alkanna (preparada según las indicaciones de la pág. 79), se fijan y adquieren coloración rojo-violeta; pero como no es permanente ésta, se emplea preferentemente el color de anilina (Sudán III).

Para obtener la coloración de las mantecas, es preciso calentar ligeramente el corte con el reactivo en el porta-objetos para provocar la fusión de la grasa.

Y 4.º Se colocan los cortes con sustancias grasas en una gota de glicerina muy azucarada, y se exponen después á los vapores del ácido clorhídrico, quitando el exceso de líquido con papel absorbente. Conseguido esto, se exponen por espacio de uno ó dos segundos á los vapores de yodo calentado. En este caso, el aceite fija y toma un límpido y hermoso color amarillo que destaca del amarillo sucio que adquiere el contenido celular.

#### MATERIAS MINERALES

Con este nombre se designan en general todas aquellas sustancias sólidas y minerales que se hallan en el interior de las

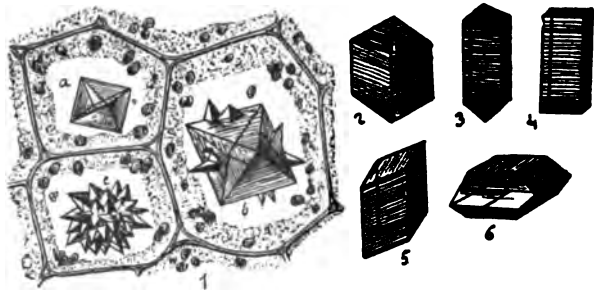


Fig. 128.—Cristales de oxalato de cal.—1, parénquima del peciolo de *Begonia manicata*: *a*, octaedro simple; *b*, octaedro con puntas de octaedros más pequeños sobre las caras; *c*, drusa de cristales octaédricos.—2, 3, prismas cuadráticos bipiramidados (hoja de la cebolla).—4, prisma aislado sin apuntamiento.—Hoja del *Asculus Hippocastanum*.—5, prisma oblicuo.—6, forma derivada del mismo.

células aun después de muertas, y que son productos de eliminación ó formación del citoplasma en sus relaciones con los

hidroplasmitos y con los materiales inorgánicos absorbidos de fuera.

Entre ellas y por orden de prelación en razón á su frecuencia, estudiaremos principalmente el oxalato de cal, carbonato, sulfato y fosfato de la misma base, la sílice y el azufre.

**Oxalato de cal.**—Los cristales de esta sal son tan abundantes en el reino vegetal, que difícilmente habrá planta en las células de cuyos órganos no se encuentre.

Es insoluble en el agua y en el ácido acético, y soluble en el ácido clorhídrico y sulfúrico. Según las condiciones de medio, cristaliza en el interior de las células en dos sistemas cristalográficos diferentes: si el jugo celular es muy ácido, el oxalato se combina con tres moléculas de agua y adquiere la forma del sistema cuadrático con ó sin pirámides básicas (fig. 128, 1, 2, 3 y 4); si, por el contrario, es poco ácido, fija sólo una molécula de agua y cristaliza en el sistema monoclinico (fig. 128, 5, 6). En ambos casos los cristales pueden ser sencillos ó maclados. La consistencia del jugo celular parece intervenir también en la forma cristalina de esta substancia: así, por ejemplo, si es muy acuoso, los cristales originados corresponden al sistema cuadrático; y si muy espeso, á consecuencia de la mucha cantidad de principios gomosos ó mucilaginosos, entonces cristaliza en agujas correspondientes al sistema monoclinico. Estas agujas aisladas ó agrupadas, llamadas *rafides* (hojas de *Fuchsia* y de *Aloe*) (fig. 129), á veces se reúnen y disponen paralelamente dentro de células bimamelonadas denominadas *biforinas* por Turpin (*Colocasia antiquorum*) (fig. 130), ó unimamelonadas (*Philodendron bi-*



Fig. 129.—Célula con jugo gomoso ó mucilaginoso y rafides de oxalato de cal (*Aloe socotrina*). — *m*, jugo mucilaginoso; *r*, radio.

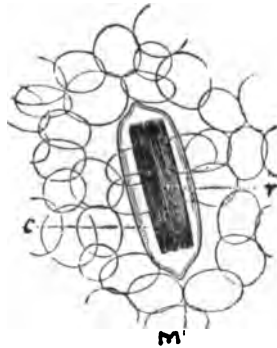


Fig. 130.—Pecíolo de la *Colocasia antiquorum*.—*r*, rafides de oxalato de cal dentro de una célula bimamelonada llamada *biforina*.

*pinnatifidum*), y otras se colocan radialmente alrededor de un centro, dando lugar á esfero-cristales de esta substancia (filamentos micelianos del hongo basidiomiceto *Phallus caninus*) (fig. 131).

Las formas más generales del oxalato de cal dentro del sistema cuadrático ó tetragonal, son: pirámides tetragonales ú octaedros de base cuadrada (peciolo de las Begonias en general), y el prisma fundamental solo ó con sus pirámides respectivas (hojas de la cebolla, ajo). Las formas correspondientes á los cristales monoclinicos se presentan, bien en prismas con truncaduras sobre los ángulos ó las aristas (hojas del limonero), ya en tablas romboidales (peciolo del *Angiopteris erecta*) (fig. 132), ó en agujas ó rasides descritas anteriormente.

El ácido oxálico puede combinarse con la potasa y origina una sal soluble disuelta en el jugo celular, y muy abundante en las hojas del *Rumex acetosa* y *Oxalis acetosella*.

**Carbonato de cal.**—Abunda mucho menos que el oxalato de cal en las células vegetales. Es soluble en los ácidos con efervescencia, y cristaliza en agujas que se agrupan, se maclan y de-



Fig. 131.—Esfero-cristal de oxalato de cal en un filamento miceliano del hongo basidiomiceto *Phallus caninus*, acompañado de pequeñas drusas de la misma substancia.

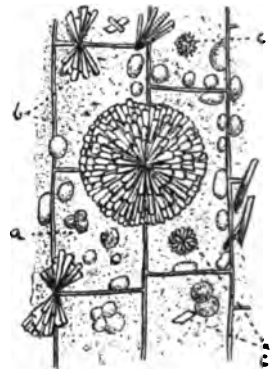


Fig. 132.—Corte longitudinal del peciolo del *Angiopteris erecta* (criptógama vascular) después de la acción prolongada en el alcohol. — c, cristales de oxalato de cal monoclinico y en drusas; b, cristales refringentes de malato neutro de cal pura; a, esferoides amorfos de malafato de cal.

positan en todo el contorno periférico de las producciones celulósicas y esculturas en relieve de las células. Así resulta que en unos casos, toma la forma de masas piriformes (*Ficus elastica*) (fig. 133), porque se deposita en la superficie de las



producciones celulósicas conocidas con el nombre de *cistolitos*; mientras que en otros, adquiere el aspecto fusiforme, bien se fije en las membranas celulares por pedicelos respectivos (*Urtica macrophylla*), ora quede libre, como en las *Cannabiáceas*.

El contacto de un ácido en todas estas formaciones provoca efervescencia; y quedando libre la celulosa de la substancia incrustante, reaparecen sus caracteres típicos como son las capas concéntricas y las coloraciones que le distinguen con los reactivos apropiados (fig. 134).

Se encuentran cristales de carbonato de cal en las *Ficáceas*,

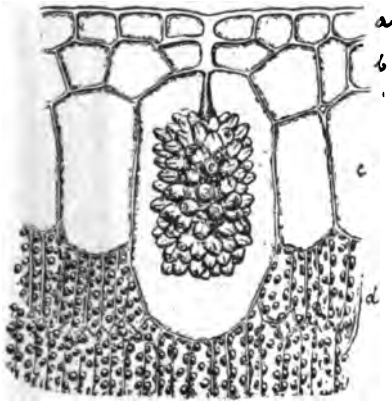


Fig. 133.—Cistolitos incrustados de carbonato de cal del *Ficus elastica*.—*a*, *b* y *c*, capas epidérmicas; *d*, parénquima verde en empalizada.



Fig. 134.—El mismo cistolito decalcificado.

*Urticáceas*, *Acantáceas*, algunas *Cucurbitáceas* y *Cannabiáceas*, tallos de *Quenopodiáceas*, hojas del *Rumex acetosa* y plasmodios de *Mixomicetos*.

**Sulfato de cal.**—Esta materia mineral se halla cristalizada en el interior de las dos vesículas de algunas *Desmidiáceas* (*Closterium*), ora en agujas cristalinas libres, ya asociadas, formando esfero-cristales (fig. 135). No es raro encontrar también esta substancia en la caña de azúcar.

**Fosfato de cal.**—Hasta el presente no han sido señalados cristales de este producto mineral más que en la madera de la planta *Tectona grandis*.

**Sílice.**—Forma los caparazones de las Diatomáceas (fig. 136) é incrusta frecuentemente en forma de espículas la cubierta externa celulósica de las hojas y tallos de muchas gramíneas, lo mismo que la epidermis de las Equisetáceas. Es absorbida por estas plantas al estado de sílice gelatinosa ó sílice en estado naciente, por ser soluble en las aguas acidulas, y proviene



Fig. 135. — *Closterium lunula*. — *a*, vesícula con cristales de yeso; *b*, cloroplastos en bandas laminares parietales vistos de perfil: en el centro se dibuja el núcleo; *c*, glóbulos oleaginosos brillantes, muy abundantes en las Desmidiáceas; *a'*, esfero-cristal formado por agujas de yeso.

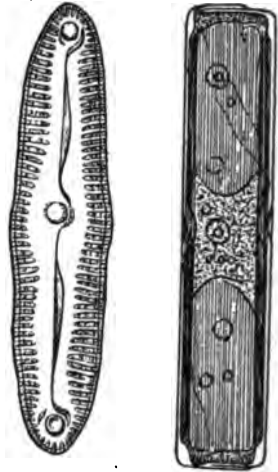


Fig. 136. — Cubiertas silíceas de la *Pinularia viridis* (diatomea), á la izquierda vista de perfil, á la derecha de frente.

en general de la alteración de los feldspatos, efectuada por el anhídrido carbónico de la atmósfera en presencia de la humedad.

**Azufre.**—Finalmente, algunas algas (*Beggiatoa alba*) depositan en el interior de sus células granillos de azufre amorfo ó cristalizado, á consecuencia de la oxidación producida por sus fermentos.

## SECCIÓN TERCERA

### JUGO CELULAR

#### CAPÍTULO PRIMERO

##### ORIGEN Y DESARROLLO—PRODUCTOS TERNARIOS GENERALMENTE DISUELTOS EN EL JUGO CELULAR

**Jugo celular.**—Es el líquido ácido que se encuentra en el interior de la célula como vehículo que establece los cambios entre el protoplasma y medio ambiente, coadyuvando á la nutrición y crecimiento de la misma.

La célula en su origen, se halla totalmente ocupada por el protoplasma (fig. 137, A), en el seno del cual se aíslan pequeñísimas cavidades ó vacuolas llenas de un líquido más ó menos condensado, y normalmente limitadas por una membrana hialina llamada *tonoplasma*, que en su constitución y funcionamiento, es análoga á la que con el mismo nombre se indicó envolvía al protoplasma.

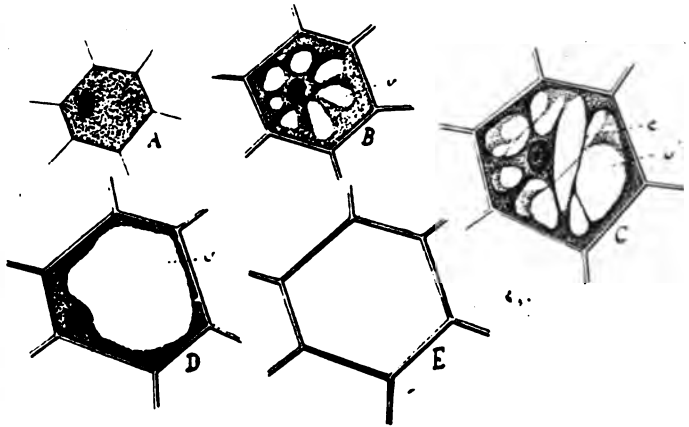
La presencia de la membrana tonoplásmica, el contenido hialino ó hialoplásmico de estos espacios diseminados en la masa del protoplasma, y las funciones que desempeñan, deciden á conceptuar estas vacuolas como verdaderos plasmitos, bajo la denominación específica de *hidroplasmitos*.

**Desarrollo.**—Estos hidroplasmitos, del mismo modo que los demás plasmitos, crecen y se dividen por estrangulación en vacuolas más pequeñas, y pueden reunirse en otras más grandes por reabsorción de los tabiques de contacto, determinando en el período de máximo desarrollo de la célula, cavidades más voluminosas separadas por bridas, cordones ó filetes protoplásmicos (fig. 137, B).

Más tarde, en la fase celular adulta, aumentan las vacuolas.

en tamaño, disminuyendo en número, y llegando á fusionarse todas ellas (fig. 137, C), forman, finalmente, una sola que, con el nombre de *gran hidroplasmito* (grande hidroleucito de Van Tieghem), rellena casi por completo la cavidad celular, y el protoplasma con el núcleo, queda entonces aplicado á la cara interna de la célula (fig. 137, D).

Mas cuando la actividad de ésta llega á su término, desaparecen el protoplasma y el núcleo, y el jugo celular la ocupa por completo (fig. 137, E), produciendo en algunos casos sustancias que en el interior, ó incrustadas en la pared, quedan de-



Figs. 137 á 141. —A, célula joven llena de protoplasma. —B, la misma más desarrollada con vacuolas *v*. —C, célula de más edad que la anterior, con vacuolas mayores *v* y los cordones protoplásmicos *c*. —D, célula adulta con la gran vacuola *v* ó gran hidroplasmito. —E, célula muerta sin protoplasma: toda la cavidad está ocupada por jugo celular.

finitivamente en la célula como vestigios de su agotada vitalidad.

De todo lo cual se infiere, que el líquido hialoplásmico encerrado en los hidroplasmitos originados al mismo tiempo que el protoplasma, es denominado *jugo celular*, cuando ha invadido mayor espacio, es decir, cuando ocupa vacuolas de volumen más considerable.

No repetiremos lo dicho respecto al funcionamiento de los hidroplasmitos (véase pág. 144); recordemos únicamente que desempeñan funciones de suma importancia en la nutrición

celular, ya nos fijemos en su quimismo vital en sus relaciones internas ó con el protoplasma; ya originen, á consecuencia del aumento y disminución de volumen que experimentan en sus cambios con el exterior, los fenómenos de turgencia y plasmolisis regulados por su capa envolvente tonoplásmica.

Sabemos que el tonoplasma vacuolar, por su permeabilidad y resistencia á la penetración de sustancias minerales y colorantes, rige la mutación ó el doble transporte que en la célula se establece con el medio ambiente, del mismo modo que el tonoplasma protoplásmico.

Así se observa que si tratamos los pelos estaminales de la *Tradescantia* con nitro y eosina, el protoplasma muerto se contrae y se colorea en rojo, y, en cambio, la vacuola ó vacuolas conservan el color azul de su jugo, puesto que el tonoplasma ha impedido la penetración en ellas de las materias colorantes.

**Desaparición del jugo.**—El jugo celular introducido en el protoplasma, bajo diferentes influencias y principalmente por contracción de la masa citoplásmica, puede desaparecer, según se observa en la levadura de cerveza y en gran número de hongos, cuando la nutrición es abundante.

En las algas, en la fase preparatoria de la formación de las esporas y huevos, la masa protoplásmica se contrae expulsando todo el jugo que tiene, el cual se acumula alrededor de aquélla y contra la pared interna de la membrana celular.

Artificialmente puede reproducirse este fenómeno sumergiendo las células en el alcohol, glicerina, disoluciones salinas ó azucaradas (fig. 142); despojando luego á las células de estos líquidos, mediante lavados en agua, tanto el protoplas-

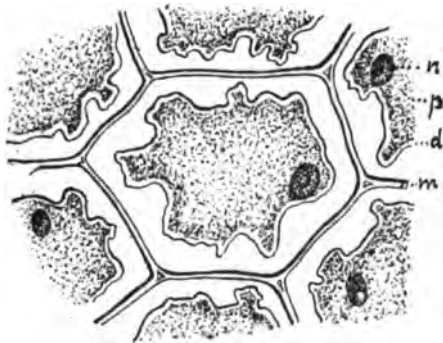


Fig. 142. —Protoplasmas celulares contraídos por el agua azucarada. —*m*, membrana; *n*, núcleo; *p*, protoplasma; *d*, dermatoplasma.

ma cómo el jugo celular, recuperan su forma y posición primeras.

**Hidroplasmitos pulsátiles.**—Los fenómenos indicados de contracción y dilatación se suceden periódicamente en cortos intervalos, según observaciones practicadas en gran número de plantas inferiores y principalmente en sus células reproductoras. Acontece en ellas, que del seno de un hidroplasmito situado en un punto determinado de la masa citoplásmica, aparece una vacuola pequeñísima que aumenta lentamente hasta un máximo variable, llegado al cual, desaparece bruscamente. Poco tiempo después, reaparece en el mismo punto y á expensas del mismo hidroplasmito, una nueva vacuola que adquiere el mismo tamaño que la anterior, y del mismo modo se extingue.

El intervalo entre dos pulsaciones rítmicas, contado por dos desapariciones sucesivas de la vacuola, es constante, por lo menos durante algunas horas, para el mismo hidroplasmito; pero de una célula á otra, dentro de la misma especie, varía, al extremo de operarse hasta tres en el mismo tiempo.

De los vegetales, las Volvocíneas son los seres cuyas pulsaciones de los hidroplasmitos son más rápidas, y se cita entre ellas, como más notable y curiosa, el *Gonium pectorale*, pues en él se suceden de diez en diez segundos.

Finalmente, el jugo celular es de naturaleza esencialmente ácida. Esté carácter, que favorece su poder disolvente, es una condición adecuada al papel que le está encomendado y que explica la existencia de muchísimas substancias, tanto orgánicas como minerales, en él disueltas, razón porque para delatarlas es forzoso recurrir á los procedimientos microquímicos de precipitación y cristalización que oportunamente serán indicados.

#### PRODUCTOS TERNARIOS

Entre las substancias constituídas por carbono, hidrógeno y oxígeno, que más interesa conocer al citólogo por hallarse disueltas en el jugo celular, comprenderemos: 1.º, *hidratos de carbono*, llamados así porque se les ha supuesto como combinaciones del carbono con los elementos del agua, es decir, que

contienen el hidrógeno y el oxígeno en las proporciones precisas para formar dicho líquido; 2.º, *glucósidos* (1); 3.º, *tánicos*; y 4.º, *ácidos vegetales* (2).

### 1.—Hidratos de carbono.

Sirviendo de base los átomos de carbono que en las moléculas respectivas encierra cada uno de dichos compuestos ternarios, y teniendo en cuenta que en capítulos precedentes han sido objeto de preferente atención la celulosa con otros productos asociados y el almidón, ordenaremos artificialmente el estudio de los hidratos de carbono, empezando por los condensados y terminando por los sencillos.

Así, pues, comenzaremos por las *exanas* ( $C_6 H_{10} O_5$ )<sup>n</sup>, denominadas *exoxanas* por Behal (3), que son anhidrosas resultantes de la condensación de las exosas que existen profusamente en el reino vegetal, constituyendo materiales de reserva, como la celulosa, almidón, inulina, glucógeno, etc.; seguiremos después el estudio de los *azúcares*, incluyendo entre ellos, por su sabor azucarado, compuestos bien heterogéneos desde el punto de vista químico, como son: las *diexosas*  $C_{12} H_{22} O_{11}$ , que se suponen producidas por la condensación de dos moléculas de glucosa, idénticas é isómeras, con la separación de una molécula de agua  $2 C_6 H_{12} O_6 = C_{12} H_{22} O_{11} + H_2 O$  (sacarosa, maltosa, lactosa, etc.); las *exosas*  $C_6 H_{12} O_6$ , entre las cuales se encuentran los azúcares más abundantes en las células vegetales (dextrosa ó glucosa propiamente dicha, levulosa, galactosa, etc.); y las *manitas*  $C_6 H_{14} O_6$ , estudiadas aquí, por el gusto azucarado y por los seis átomos de carbono que contienen sus moléculas, si bien deben ser considerados como verdaderos alcoholes exaatómicos.

Y, por último, completaremos el examen de los hidratos de carbono con una ligera idea de las *pentosanas* ( $C_5 H_8 O_4$ )<sup>n</sup>,

(1) Algunos glucósidos, como la *amigdalina*, son nitrogenados, y, por tanto, productos cuaternarios.

(2) En los *ácidos vegetales* indicaremos brevemente el ácido anhidro oximetileno difosfórico, descubierto recientemente por Posternak.

(3) Augusto Behal, *Traité de chimie organique*: París, 1902.

anhidrosas resultantes de la condensación de las *pentosas*  $C_5 H_{10} O_5$ , las que, mezcladas con aquéllas y enlazadas con otros principios diversos (véase lignina, pág. 81), constituyen las materias incrustantes que desempeñan así un importantísimo papel en los tejidos lignificados y muchas de las secreciones gomosas en general.

α. **Exanas** ( $C_6 H_{10} O_5$ )<sup>n</sup>.—A éstas corresponden, además de la celulosa y el almidón ya estudiados, la inulina, glucógeno y galactana.

**Inulina** ( $C_6 H_{10} O_5$ )<sup>n</sup> +  $m H_2 O$ .—Interesantísimo es este hidrato de carbono, pues representa, en las pocas plantas donde se halla, el equivalente fisiológico del almidón. Fué descubierta por Valentín Rose (1804) en la raíz de la *Inula helenium*, de donde procede su nombre, y posteriormente se ha comprobado su existencia en las tuberosidades subterráneas de la dalia, pataca y otras plantas.

No coexiste en las plantas la inulina con el almidón. Excepcionalmente, sin embargo, las escamas de los bulbos del *Galanthus* y *Leucojum* encierran ambas substancias, con abundante reserva de la última.

La inulina, cuya composición es conocida, es insoluble en agua fría y muy soluble en caliente, precipitándose por enfriamiento; es soluble también en agua fría cuando esta tiene reacción ácida, y he aquí por qué se encuentra dicha substancia disuelta en el jugo celular.

Desvía el plano de polarización á la izquierda, siendo en la *Inula*  $-32$  y en la *Dahlia*  $-26$ , á lo que corresponden los nombres de *levulina* y *sinistrina*, con que también se designa.

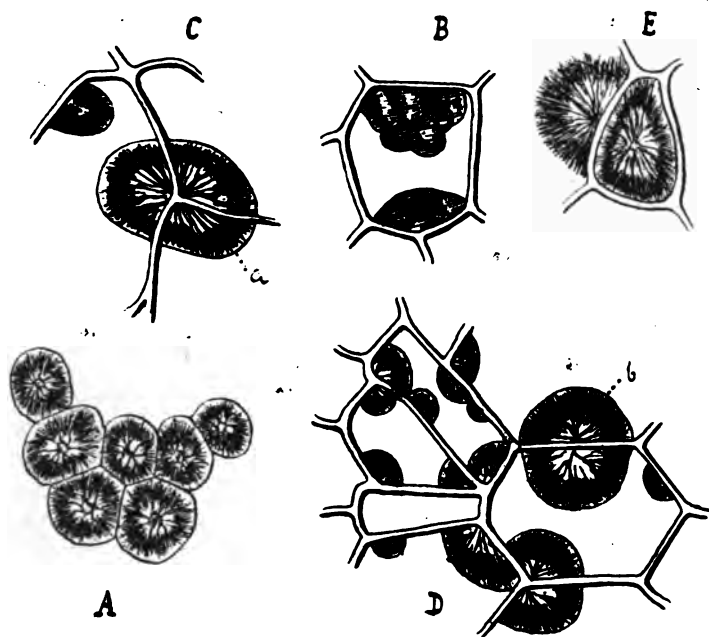
Se precipita por el alcohol, éter, aceites fijos y volátiles, sulfuro de carbono y glicerina. No se colorea por el yodo, como el almidón, y toma una coloración rojo-anaranjada con la solución alcohólica de phloroglucina y ácido clorhídrico en caliente.

La ebullición en los ácidos diluidos sulfúrico ó clorhídrico, transforma la inulina en levulosa. Esta misma transformación se produce por hidrólisis en las células, bajo la influencia del fermento *inulasa*.

Ahora bien: sumergiendo un corte microtómico no muy delgado de tubérculo de dalia, pataca, etc., en alcohol absoluto, se produce en el jugo celular un fino precipitado de inu-



lina amorfo, semejante al representado en la figura 143, *B*. Si después, según indica Strasburger, reemplazamos en la misma preparación el alcohol por el agua, y calentamos ligeramente, observaremos que el precipitado granuloso se redisuelve. Este carácter es suficiente para delatar la presencia de la inulina.



Figs. 143 á 147.—Inulina del rizoma de *Inula belenium*.—*A*, cristales de inulina separados de las células de una preparación que ha estado varios días en maceración en el alcohol.—*B*, inulina de aspecto amorfo.—*C* y *D*, esfero-cristales de inulina precipitados á lo largo de las membranas celulares de una preparación montada en la glicerina, previamente macerados los fragmentos del rizoma en el alcohol: tres porciones de inulina integran el esfero-cristal *a*; dos porciones de dos células forman el *b*.—*E*, esfero-cristal de la misma preparación picado y recortado en los bordes por la acción del ácido acético ó nítrico.

El mismo resultado se obtiene exprimiendo el jugo de dichas raíces tuberosas y tratándolo por el alcohol. Redisueltos los granillos amorfos precipitados en agua caliente, y dejando que nuevamente se agrupe la substancia inulina por enfriamiento, con las condiciones que exige una buena cristalización, se ob-

tendrán unos cristales redondeados que por su forma reciben el nombre de *esfero-cristales*.

Estas masas, detenidamente observadas con auxilio del microscopio, ofrecen capas superpuestas y un pequeño vacío central prolongado por fisuras en estrella, dando lugar á compuestos esféricos constituídos por prismas birrefringentes (según indica la luz polarizada) y en disposición radiante.

Para examinar cortes al microscopio, es preciso tener en cuenta que estando la inulina disuelta en el jugo celular, las preparaciones montadas en el agua serían inútiles. Por consiguiente, para descubrir esta substancia en el interior de las células, es necesario que actúe por algún tiempo el alcohol ó la glicerina sobre los tejidos vegetales que la contienen.

A este fin, elijamos cualquiera de las raíces tuberosas de las plantas consabidas, dejando que se desequen algunos días en el aire. Pasado este tiempo, hagamos fragmentos dichas raíces, é introduzcamos las porciones en un frasco con alcohol, para que se maceren durante varios días.

También pueden cortarse trozos de raíz de dalia de 5 milímetros de espesor, macerándolos por espacio de quince días, por lo menos, en alcohol de 80° ó en glicerina siruposa.

En estas condiciones, practiquemos en un trozo de raíz un corte delgado que montaremos en glicerina sobre el porta-objetos. Observado al microscopio, veremos perfectamente en las células esfero-cristales sueltos ó agrupados y constituídos por agujas cristalinas radiantes muy apretadas y coherentes entre sí (fig. 143, A, C, D). Y si fijamos un poco más nuestra atención, advertiremos que en la cristalización, la atracción molecular se deja sentir á través de las membranas celulares, desde el momento que los esfero-cristales se corresponden de una á otra célula. Así sucede (fig. 143, C) que tres fragmentos de esfero-cristales, situados en tres células diferentes, se completan uno con el otro para integrar ó formar un esfero-cristal completo, indicando con esto que un punto de la pared separatriz de dichas células ha servido, al parecer, de centro de atracción del esfero-cristal.

Además, podemos asegurar sencillamente que el esfero-cristal de inulina está constituído por aglomeración de agujas cristalinas, sometiendo la preparación, una vez hecha, á la acción del ácido acético ó ácido nítrico durante algunos mi-

nutos; y si después se monta en la glicerita diluida con un poco de aquel ácido, se observará entonces que las masas de inulina atacadas por él presentan el aspecto *E* de la figura 146, donde las agujas, separadas las unas de las otras, acusan, con la mayor brillantez, la estructura radiada del esfero-cristal.

Se puede ver además, disponiendo de luz polarizada, que dichas masas esfero-cristalinas de inulina presentan la cruz negra, distintivo característico de la estructura cristalina radiada.

Por último, en las raíces tuberosas de las dalias, la inulina va acompañada de dos amino-ácidos que representan una reserva azoada, como son la *esparraguina*, que cristaliza en tablas por la acción del alcohol concentrado, y la *tirosina*, que no cristaliza en el interior de las células vegetales, donde se encuentra, sea cualquiera el reactivo empleado hasta hoy.

Se halla también la inulina en las *Campanuláceas*, *Stilideas*... y nunca en las semillas.

**Glucógeno.**—Este hidrato de carbono, de la misma composición que el precedente, es elaborado en gran cantidad por los hongos y desempeña en ellos el mismo papel fisiológico que el almidón en las plantas verdes.

Ordinariamente se halla disuelto en el jugo celular, y á veces en granulaciones, como en el cornezuelo de centeno en germinación.

El glucógeno forma con el agua una emulsión mejor que disolución; el líquido, siempre opalescente, se esclarece sensiblemente en presencia de una pequeña porción de ácido acético. Es de naturaleza coloidal, como los albuminoides, y su emulsión ó falsa disolución no atraviesa las membranas permeables.

Con el yodo toma una coloración pardo-rojiza (*Boletus*), á veces violada (levadura) ó azul (cornezuelo), y el yoduro formado se decolora por el calor á 70°, apareciendo el tinte respectivo por enfriamiento, como sucedía al almidón.

Los ácidos diluidos convierten el glucógeno en glucosa, y la diastasa ó fermento amilasa produce la transformación hidrolítica, convirtiéndola en maltosa.

Esta substancia glucógena se precipita de su emulsión por el alcohol, y para privarle de todas las materias extrañas,

principalmente compuestos pécticos, hay que ayudar la acción del alcohol con cloruro de sodio.

**Galactana.**—Producto es éste muy semejante al almidón y que forma parte de las reservas de diferentes semillas (altramuz, alfalfa), así como de ciertos órganos subterráneos (raíz carnosa del *Stachys tuberosa*).

Se encuentra disuelta en el jugo celular y se precipita de su disolución por el alcohol, dando lugar á un polvo blanco. No reduce el líquido de Fehling (sulfato cúprico con exceso de potasa) (1); pero se efectúa la reducción después de la acción de los ácidos diluídos, que la convierten en *galactosa* (glucosa).

El ácido nítrico oxida enérgicamente esta substancia y la transforma en ácido múcico.

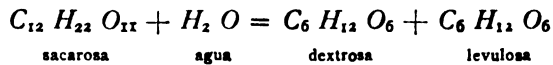
*aa.* **Azúcares.**—Se hallan en disolución en el jugo celular y desempeñan el papel de reservas alimenticias, acumulándose en los tallos (regalíz), raíces (zanahoria, remolacha) y en casi todos los frutos. Circulan en disolución por el interior de la planta, para ir á los puntos donde han de ser utilizados, si bien en algunos casos cristalizan, como acontece en el higo y en el dátil.

Tres grupos hacemos de los azúcares ó principios azucarados, cuales son: *diexosas*, *exosas* y *manitas*.

1. **Dlexosas.**— $C_{12} H_{22} O_{11}$ , son dos principalmente, la sacarosa y la maltosa: ambas no son alteradas por los álcalis á 100°.

**Sacarosa.**—Este hidrato de carbono es muy abundante en la medula de la caña de azúcar, raíz de la remolacha, nectarios y algunos frutos. Cristaliza en gruesos prismas clinorrómbicos, es dextrogira, no fermentescible ni reductora, es decir, que no reduce el líquido Fehling. Su poder rotatorio es + 66°, 50.

Se desdobra por hidrólisis en un número igual de moléculas de dextrosa y levulosa isómeras, bien por la acción de los ácidos diluídos en caliente, ya por la acción de la diastasa *invertina* ó *invertasa*, según la ecuación siguiente:



(1) Se dice que un azúcar es reductor cuando, disuelto y vertida la disolución en el líquido de Fehling hirviendo, da lugar á un precipitado rojo de subóxido de cobre.

Esta mezcla no es ya dextrogira, sino levogira, por ser el poder rotatorio de la levulosa superior al de la dextrosa: de aquí el nombre de *azúcar invertido*.

Las plantas para utilizar la sacarosa como alimento, necesitan, como es natural, invertirla por el fermento diastásico respectivo. De este modo se comprende sea asimilada por la remolacha en el segundo año de su existencia si ha de desarrollarse como planta bienal para formar las flores y frutos.

**Maltosa.**—Esta sustancia es dextrogira, cristaliza en agujas y reduce el líquido de Fehling. Los ácidos diluidos la transforman en glucosa. Esta transformación se opera en las células vegetales bajo la acción hidrolítica del fermento *maltasa* (véase págs. 134 y 135).

**Trehalosa ó mioosa.**—Ha sido extraída de un gran número de hongos (*Polyporus*, cornezuelo de centeno, etc.) Representa en estos vegetales el azúcar alimenticio, así como el glucógeno sustituye al almidón.

Se acumula de preferencia en el pie de los hongos que tienen sombrero (*Boletus*), en el momento de la esporulación, y es reabsorbido gradualmente durante la maduración de las esporas, contribuyendo á la formación de éstas. Al mismo tiempo aparece un principio azucarado nuevo llamado *manita*, á consecuencia de la hidrogenación de la trehalosa.

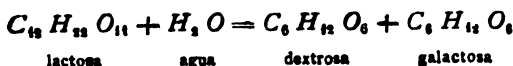
Este azúcar, en solución hidro-alcohólica concentrada, cristaliza ordinariamente en octaedros, y del mismo modo que la sacarosa no reduce el líquido cupro-potásico (Fehling).

Los ácidos diluidos, como el fermento diastásico *trehalasa*, la convierten en glucosa.

**Lactosa.**—Es el azúcar característico de la leche de la especie humana y animales herbívoros: se encuentra excepcionalmente en los vegetales en el *Achras Sapota*.

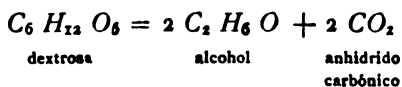
Es soluble en el agua é insoluble en el alcohol y en el éter; es reductora, y su poder rotatorio es + 53°.

Se obtiene por cristalización del suero de la leche, y corresponde á la condensación de una molécula de dextrosa y de otra de galactosa, y en las cuales se desdobra por hidrolisis, según la ecuación conocida



II. **Exosas**  $C_6 H_{12} O_6$ .—Constituyen el grupo conocido de las glucosas en general. Entre ellas estudiaremos principalmente la dextrosa, levulosa y galactosa.

**Dextrosa**.—Esta substancia, llamada también *glucosa propiamente dicha*, es de función alcohólico-aldehídica, dextrógira, cristaliza en prismas clinorrómbicos, poco soluble en el alcohol absoluto é insoluble en el éter, reduce enérgicamente el líquido de Fehling, y es directamente fermentescible, es decir, que con el fermento *alcoholasa* (1) del vegetal anaerobio facultativo *Saccharomyces cerevisiae*, se desdobra en alcohol, anhídrido carbónico y productos accesorios, dando lugar á la fermentación alcohólica



Se encuentra en los frutos ácidos asociada á la levulosa, y en los no ácidos á la sacarosa; y es muy abundante en las células verdes, pues recordaremos se origina en los cloroplastos á consecuencia de la asimilación del carbono.

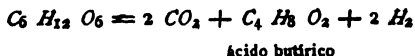
Tratada por el hidrógeno nascente, se convierte en *manita*, compuesto de gusto igualmente azucarado ( $C_6 H_{14} O_6$ ).

**Levulosa**.—Esta substancia es de función alcohólico-acetónica, levógira, cristaliza difícilmente en largas agujas, y recibe el nombre de *fructosa*, por encontrarse en todos los frutos maduros; unas veces se halla asociada, molécula á molécula, á la dextrosa; otras á la sacarosa.

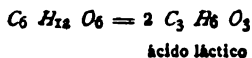
Es muy soluble en el agua, reductora y directamente fermentescible como la dextrosa. Su poder rotatorio es  $-106^\circ$ .

De la mezcla de las dos exosas, dextrosa y levulosa, llamada *azúcar invertido* por el cambio de signo del poder rotatorio

(1) Con el fermento butírico



Con el fermento láctico



respecto al del azúcar generador ó sacarosa, se separa la le-  
vulosa de la dextrosa, sin más que tratarlas por el carbonato  
cálcico ó la cal, pues forma dextrosato de calcio soluble y le-  
vulosato de cal insoluble. Decantando en seguida y eliminando  
en ambos casos la cal por medio del ácido oxálico, obtendre-  
mos los dos azúcares completamente separados.

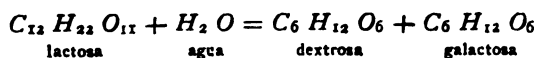
**Galactosa.**—Esta exosa, á diferencia de las anteriores, se transfor-  
ma en ácido múcico por la acción del ácido nítrico, del mismo modo  
que la galactana (véase pág. 172).

Dicho azúcar se produce por la acción de los ácidos diluídos sobre  
la galactana ó sobre la lactosa.

El primero de estos hidratos origina sólo galactosa



El segundo forma galactosa y dextrosa



Para revelar la presencia de glucosas y sacarosas en las  
células, se someten los cortes de los órganos vegetales (1) á  
los procedimientos que se indican en microquímica vegetal (2).

Entre los más conocidos señalaremos los siguientes:

1.º Según Poulsen, se sumerge el corte de dos á diez mi-  
nutos en una *solución concentrada de sulfato de cobre*, laván-  
dolo después rápidamente en agua destilada; luego se coloca  
en una solución hirviendo que contenga partes iguales de *agua*  
y de *hidrato de potasa* (3). Por este método, las células que con-  
tienen sacarosa se colorean en azul claro; mientras que aqué-  
llas que encierran glucosa, aparecen opacas y enturbiadas por

(1) Para delatar las sustancias disueltas en el jugo celular (azúcares, glu-  
cósidos, taninos, amino-ácidos, alcaloides, sales, etc.), los cortes se hacen en  
seco y transportados directamente de la navaja al reactivo.

Preciso es, además, que no sean muy delgados, es decir, que comprendan  
próximamente de dos á tres capas de células intactas.

(2) M. Thouvenin, *Precis de Microchimie vegetale*; París, 1904.

(3) V. A. Poulsen, *Microchimie vegetale*, traducido por J. P. Lachmann,  
págs. 42 y 43.

un precipitado finamente granuloso, amarillo rojizo, de sub-óxido de cobre. Haciendo hervir algún tiempo la disolución azul de sacarosa con ácido sulfúrico ó nítrico diluidos, se forma *azúcar invertido*, ó sea dextrosa y levulosa, y, por consiguiente, el característico precipitado rojo se manifiesta.

2.º Otro medio más frecuente para llegar al reconocimiento de la glucosa, es el líquido de Fehling. Se prepara este reactivo, mezclando en el momento de su empleo volúmenes iguales de las dos disoluciones siguientes:

|    |  |               |
|----|--|---------------|
| I  | { Sulfato de cobre.....                            | 34,64 gramos. |
|    | { Agua.....  | 1000 c. c.    |
| II | { Sal de Seignette (tartrato sódico potásico)..... | 173 gramos.   |
|    | { Sosa cáustica.....                               | 60 id.        |
|    | { Agua.....  | 1000 c. c.    |

Para prolongar la conservación del reactivo, conviene tener separadas estas disoluciones, hasta que haya de utilizarse (1).

Sumergiendo el corte del parénquima carnoso de una pera, por ejemplo, en esta solución hirviendo, al cabo de dos segundos se colorea en rojo carmín la glucosa que contiene.

Si en las mismas condiciones se coloca una sección de la

(1) Algunos preparan el líquido Fehling según el procedimiento Pasteur, y consiguen de este modo permanezca inalterable por lo menos de uno á dos años.

Para ello, se hacen las tres soluciones de los productos siguientes:

|     |                        |               |
|-----|------------------------|---------------|
| I   | { Sulfato cúprico..... | 34,65 gramos. |
|     | { Agua destilada.....  | 150 id.       |
| II  | { Acido tártrico.....  | 92 gramos.    |
|     | { Agua destilada.....  | 250 id.       |
| III | { Sosa.....            | 115 gramos.   |
|     | { Potasa.....          | 70 id.        |
|     | { Agua.....            | 350 id.       |

Obtenidas estas disoluciones, se vierten lenta y simultáneamente la primera y segunda sobre la tercera, teniendo cuidado de que se mantenga fría la solución resultante, pues de otro modo se elevaría demasiado la temperatura por el calor desarrollado en la combinación que se produce, y después se agrega agua destilada hasta completar 1.000 c. c., ó sea un litro de reactivo.

El líquido azul así preparado se conserva en frascos oscuros.



remolacha, aparecen teñidas en azul, sin precipitado, las células provistas de sacarosa; actuando más tiempo el reactivo, la sacarosa se *invierte* por la ebullición, dando entonces la reacción indicada de la glucosa. En este ejemplo citado, se observa al microscopio que al principio las capas periféricas del corte presentan en sus células precipitado granuloso rojizo, al mismo tiempo que en las internas aparecen ocupadas de líquido azul, que la acción más persistente del reactivo llega á precipitar en rojo.

3.º Otra reacción microquímica indicada para delatar la glucosa, es la de Barfoed, fundada en el empleo del acetato de cobre acidulado.

Para preparar el reactivo, se disuelve una parte de acetato neutro de cobre cristalizado en quince de agua; á 200 c. c. de esta solución, se añade 5 c. c. de ácido acético cristalizable disuelto al 38 por 100.

Sumergidos dos cortes, uno de la pera y otro de la remolacha, en 5 á 8 c. c. de este último líquido, se somete á la ebullición algunos instantes, y después se vierten los líquidos y cortes en pequeños cristalizadores. Al cabo de algunas horas, las secciones de la primera se recubren de un fino precipitado de óxido de cobre, que también se depositan en pequeña cantidad en el cristalizador; los cortes de la remolacha no presentan nada semejante. No se debe retrasar la observación más del tiempo preciso, variable según el grosor del corte y la edad del órgano en que aquél se realiza, porque el débil precipitado formado pudiera reoxidarse y disolverse en el líquido.

*Advertencia.*—Para la determinación de las *diexosas*, *exosas*, así como las *pentosas*, se utilizan los caracteres siguientes: 1.º, la composición química que define el grupo; 2.º, la reducción del sulfato de cobre en presencia de un exceso de potasa (líquido de Fehling); 3.º, el poder rotatorio; 4.º, el poder fermentescible; y 5.º, la combinación del azúcar considerado con la *fenilidraquina*.

Si la disolución de azúcar vertida en el líquido de Fehling hirviendo, da un precipitado rojo de subóxido de cobre, el azúcar de que se trata es reductor (dextrosa, levulosa, maltosa).

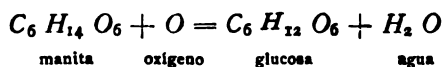
Si dicha disolución actúa con la *fenilidraquina* en presencia

del ácido acético, se forma, sea en frío ó en caliente, una combinación llamada *osazona*, que se precipita en cristales visibles ó microscópicos y ordinariamente en agujas.

Estas osazonas son diferentes según el azúcar que les ha dado origen. Así, por ejemplo, la osazona de la glucosa ó *glucosazona*, es casi insoluble en el agua y en el alcohol, y funde á 25°; en cambio la *arabinosazona*, osazona de la arabinosa (azúcar de las pentosas), es soluble en el alcohol frío y en el agua hirviendo, y se funde próximamente á los 143°, etcétera. Por último, las exosas, calentadas con orcina y ácido clorhídrico, dan coloración roja: este carácter las separa de las pentosas, que adquieren color azul. Si se reemplaza la orcina por la resorcina, sólo la levulosa ó los cuerpos capaces de producirla por desdoblamiento, como la sacarosa, rafinosa, etc., dan la coloración roja característica de las dextrosas.

III. **Manitas** ( $C_6 H_{14} O_6$ ).—Estos cuerpos, de gusto azucarado, son alcoholes exaatómicos ó exanoexoles, que pueden tomar origen actuando la dextrosa con el hidrógeno nascente. No reducen el líquido de Fehling, si bien adquieren una coloración azul en su presencia, y cristalizan en soluciones hidroalcohólicas concentradas en gruesos prismas ó en largas agujas sedosas.

Por deshidrogenación se convierten en glucosas



Se extraen de ordinario del *Fraxinus ornus*, cuya manita constituye la parte azucarada del maná de esta planta, y también del *cedro del Libano*, *Eucaliptus*, *Tamarix*, aparatos fructíferos de hongos (*Agaricus*), talo de *Laminarias* y pericarpios de las aceitunas verdes.

Finalmente, al lado de las manitas y por su abundancia en las plantas, debemos estudiar otros dos compuestos que, aun cuando en su constitución entran el hidrógeno y el oxígeno en las proporciones del agua, sin embargo, por sus propiedades químicas corresponden á grupos muy distintos: nos referimos á la *floroglucina é inosita*.

**Floroglucina**.—Este fenol trivalente  $C_6 H_3 (OH)_3$ , de forma

endóica, se halla muy esparcido en los vegetales. Se ha encontrado, según Belzung (1), localizado en las vesículas especiales intraprotoplásmicas de algunas algas, y hasta ahora, al menos, no parece se halla encerrada en las vacuolas del jugo celular.

Abunda en las células del parénquima cortical de los cerezos (vástagos tiernos) y en casi todas las especies del género *Cerasus*, y se reconoce porque con la vanilina en solución acuosa ó alcohólica y ácido clorhídrico, se colorea en rojo. Esta reacción nos manifiesta que con el jugo de estas plantas (abundante en floroglucina) y el ácido clorhídrico, podemos preparar el reactivo de Wiesner, característico de la lignina (2), de creer, como algunos suponen, que la vanilina es uno de los factores más esenciales de incrustación leñosa (véanse páginas 83 y 84).

**Inosita.**—Este cuerpo, muy abundante en las hojas, es un fenol exavalente  $C_6 H_6 (O H)_6$ , mejor dicho, un ciclanooxol, estrechamente ligado á los compuestos aromáticos.

Dicha substancia, de sabor dulce, no actúa sobre la luz polarizada, se funde á  $218^\circ$ , no es reductora ni fermentescible y cristaliza con dos moléculas de agua.

No sólo se ha reconocido su existencia en las hojas según Vohl, Gintl, Tauret, sino también en otros órganos como la judía, guisante, patata, espárrago, etc.

Es un producto cuya formación, lo mismo que la glucosa, depende de la función clorofílica, con la diferencia de que, así como la glucosa corresponde á una sextuplicación del aldehído fórmico ó metílico  $C H_2 O$ , la inosita es un fenol procedente de la sextuplicación de un cuerpo transitorio, ó éter de un isómero alcohólico  $C H (OH)$  de dicho aldehído, dando lugar á la fórmula precitada.

A esta substancia, según veremos después, se debe el origen de la molécula fosforada, como material de reserva, ó sea el ácido anhidro-oximetileno difosfórico, descubierto por Posternak.

**aaa. Pentosanas**  $(C_5 H_8 O_4)^n > 3$ .—Son anhidrosas resultantes de la condensación de las pentosas. Entre ellas se encuentran las *arabanas* y *xilanas*. Las *arabanas* se hallan en casi

(1) Belzung, *Anatomie et physiologie vegetale*: Paris, 1900, pág. 125.

(2) Strasburger, *Manuel technique d'Anatomie vegetale*: Paris, pág. 71.

todas las producciones gomosas mezcladas á las galactanas. Abundan en las gomas del cerezo, almendro, melocotonero, ciruelo y en otra porción de frutales indígenas.

Hidrolizada por ácido sulfúrico ó clorhídrico, produce arabinosa.

Las *xilanas* son llamadas gomas de leño. Se encuentran en los tejidos lignificados de todos los vegetales.

La goma de leño se hincha ligeramente en el agua, y es soluble en la caliente. Hidrolizada por ácido sulfúrico ó clorhídrico, produce *xilosa*.

**Pentosas**  $C_5 H_{10} O_5$ .—De las cuatro que indica Behal, arabinosa, xilosa, lixosa y ribosa, las dos primeras son las importantes.

Todas ellas, calentadas con orcina y ácido clorhídrico, dan coloración azul: esto las diferencia de las exosas, que dan coloración roja (1).

La arabinosa (azúcar de goma) con la floroglucina y ácido clorhídrico, produce coloración roja.

La xilosa (azúcar de paja) abunda en la paja de trigo, de maíz, madera de haya y turba.

Todas ellas proceden de la acción de los ácidos sobre las gomas y principios pécticos y leñosos, que asociados forman parte de las membranas celulares.

Claro es que con la influencia del ácido, las arabanos que constituyen la mayor parte de la goma, así como las xilanas que forman las paredes de los elementos anatómicos leñosos, se desdoblán respectivamente por hidratación en arabinosa y xilosa.

En presencia de la *fenilidrina*, estos azúcares dan lugar á osazonas diversas (véanse págs. 177 y 178).

## 2.—Glucósidos.

Reciben este nombre, porque son éteres de la glucosa, es decir, porque son resultado de la reacción de las glucosas (alcoholes pentaatómicos más aldehidos) con los ácidos vegetales.

Con fermentos especiales, producen por hidrólisis glucosas y cuerpos ácidos ó neutros.

(1) Auguste Behal, *Traité de chimie organique*: Paris, 1902, pág. 578.

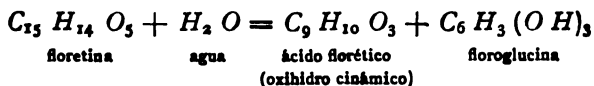
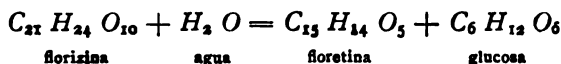
Son cristalizables y algunos nitrogenados, de donde nace la división en *nitrogenados* y *no nitrogenados*. Entre los primeros, tenemos: la *amigdalina* ( $C_{20} H_{27} N O_{11}$ ) (muy abundante en las almendras amargas y en las semillas de la pera, níspero, espino, majuelo); la *sinigrina* ( $C_{10} H_{16} N K S_2 O_6$ ) que se halla en la mostaza negra (*Sinapis nigra*), y la *sinalbina*. Y entre los segundos ó no nitrogenados, se encuentran la *florizina* ( $C_{21} H_{24} O_{10}$ ) de la corteza de las raíces del manzano, cerezo, ciruelo, etc.; la *populina* (corteza del chopo temblón), *esculina*, *arbutina*, *coniferina*, *saponina*, *brionina*, *coloquinina*, *estrofantina*, etc.

La amigdalina de los primeros con el fermento *emulsina*, produce por hidrolisis los productos que á continuación se expresan:



La *florizina* de los segundos da lugar por desdoblamientos sucesivos á *floretina*, substancia cristalizable y glucosa; y la *floretina* á su vez por la acción de la potasa en caliente se transforma en *ácido florético* y *floroglucina*, fenol trivalente de gusto azucarado.

Las reacciones á que aluden las anteriores transformaciones, son al parecer y según Behal, las siguientes:



Este último cuerpo existe en la pared leñosa de los vasos que forman parte de la madera antigua, y se reconoce porque con una disolución de vanilina en ácido clorhídrico, se colorea en rojo. De este carácter microquímico nos servimos en histología para descubrir la presencia de la floroglucina en las células donde se encuentra, como puede verse en los parénquimas corticales de los vástagos tiernos del cerezo.

La *coniferina* ( $C_{16} H_{11} O_8$ ) del jugo de las coníferas, se transforma por oxidación en *vanilina*, principio aromático que se halla en la vainilla, en el pericarpio de la avena, en el corcho y hasta en los taninos.

Para el estudio de la localización de los glucósidos, como de las diversas sustancias disueltas en el jugo celular, conviene, á ser posible, operar con plantas frescas, pues los resultados obtenidos con los vegetales secos son siempre dudosos, á consecuencia de que los jugos de las células muertas se difunden y esparcen en las regiones vecinas.

No se conocen en microquímica vegetal reactivos generales de estos productos celulares; sin embargo, á guisa de ejemplos, indicaremos las reacciones particulares de algunos de ellos.

**Brionina y coloquintina.**—La *brionina* se colorea en rojo de sangre con el *ácido sulfúrico puro y concentrado*; en rojo que pasa á verde, con el *reactivo de Frøhde* (molibdato de sodio, un gramo; ácido sulfúrico bihidratado, 200 c. c.); en rojo que cambia á azul violado, con el *reactivo de Mandelin* (vanadato de amonio, un gramo; ácido sulfúrico bihidratado, 200 c. c.)

La *coloquintina* con los mismos tres reactivos se colorea en rojo cereza.

Para obtener con claridad las reacciones precedentes, se opera del modo siguiente: los cortes (recibidos en el éter, porque la brionina y coloquintina son solubles en el alcohol) se colocan en el porta-objetos, en una mezcla de cinco volúmenes de éter y uno de reactivo; calentando la preparación sobre una caja metálica que encierre agua caliente se separa el éter, y después se añade el reactivo puro.

**Saponina.**—Con el *ácido sulfúrico concentrado*, ó una solución en partes iguales de *alcohol de 90°* y de *ácido sulfúrico*, las células con dicho glucósido adquieren una coloración amarilla, que se convierte en seguida en rojo carmín, y al cabo de diez á quince minutos en azul violado. La adición de *bicromato de potasio* transforma esta coloración en verde sucio.

**Estrofantina.**—Se tratan los cortes por el *ácido sulfúrico* al 10 por 100, y se calientan después entre 43 y 49°. De este modo las células toman una coloración verde que pasa al azul y finalmente al violado.

Con el *reactivo de Frøhde*, la coloración manifestada es al

principio verde, y después anaranjada y roja; si se calienta un poco, la tinta es parda y se transforma en verde.

**Oubalina.**—Este glucósido, con el ácido sulfúrico, adquiere una coloración amarilla, que en seguida cambia en rosa.

### 3.—Taninos.

Estos cuerpos, que, en razón á su débil acidez, han sido llamados por algunos *ácidos tánicos*, tienen tendencia por sus afinidades químicas, como la de los glucósidos en general, á aproximarse á los fenoles.

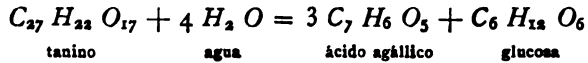
Muy esparcidos en el reino vegetal, se caracterizan por ser astringentes, solubles en agua, de acidez débil y precipitan las soluciones gelatinosas y las materias albuminoideas en general, formando combinaciones rápidas ó tanatos insolubles que son imputrescibles. Este último carácter es aprovechado por la industria para el curtido de pieles.

Comunican á las sales férricas, según la naturaleza é intensidad del tanino, como el grado de concentración y género de sal empleada, coloraciones negras, verdes ó verde-azuladas, verdaderos precipitados, que son la base de la fabricación de la tinta. Al tanino de los receptáculos de alcachofa, y frutos sobre todo no maduros, seccionados con cuchillos de hierro ó de acero, se debe el ennegrecimiento que observamos en las láminas cortantes de estos instrumentos. Estas reacciones, así como la coloración ó precipitado rojo ó pardo que adquieren los taninos con el bicromato potásico, sirven de fundamento para distinguir estos productos en microquímica vegetal.

Se encuentran los taninos principalmente en las cortezas de las plantas; pero su abundancia es extremada en las agallas de los robles, encinas y otros árboles, hasta el punto de que las del roble de Oriente (*Quercus infectoria*) encierran de tanino la cuarta parte de su peso (1). Se extraen estos productos tan útiles por medio del éter.

(1) Las agallas son excrescencias patológicas más ó menos esféricas, que se producen en las partes tiernas de los vegetales, á consecuencia de las heridas que, para depositar sus huevos, hacen las hembras de ciertas especies del género *Cynips*, L. (*himenópteros*). En el centro de dichas agallas aparece una cavidad, en el seno de la cual anidan y se desarrollan las larvas del insecto.

Los taninos en disolución son un excelente medio nutritivo para las plantas y particularmente para los hongos (*Penicillium glaucum*, *Sterigmatocystis nigra*, etc.), pues se alimentan de la glucosa resultante de la hidrólisis efectuada por los fermentos segregados por dichas plantas, según la reacción siguiente:



en la cual se funda la obtención industrial de este ácido.

Se hallan estos productos localizados en células especiales llamadas *taníferas* (1), que se distinguen por su contenido mucho más denso que el

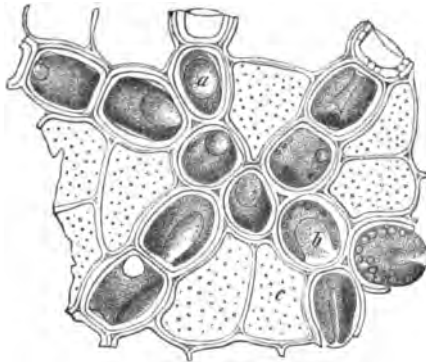


Fig. 148.—Células de la corteza del roble llenas de tanino. (T. H.)

de las células normales. A veces se encuentran en todos los elementos del parénquima (agallas, corteza del roble (fig. 148) y receptáculo carnoso de la alcachofa, cardo); otras, en las capas subepidérmicas de la cara superior é inferior del limbo de la hoja (*Anthyllis genistæ*) (fig. 149); bien

en el periciclo (*Tetragonolobus siliquosus*) (fig. 150); ora en la medula de los tallos (saúco, rosal, zarzamora) (fig. 151); ya, finalmente, en las capas subepidérmicas y en el periciclo (véase fig. 149).

Estos taninos se hallan encerrados en el jugo de vesículas brillantes denominadas *hidroplasmitos taníferos* (fig. 152), limitadas en general por paredes más ó menos diferenciadas.

La acción de los ácidos del jugo celular es causa de que los

(1) Estas células aparecen aisladas unas veces y agrupadas otras en serie lineal ó formando canales secretores, etc.



taninos formen combinaciones solubles con los albuminoides, como acontece en la raíz de la *Azolla caroliniana* (criptógama vascular). Estos tanatos solubles se pueden extraer en forma de gotas por plasmólisis, y precipitar por medio del carbonato amónico.

Si el jugo celular fuera neutro, dichos taninos se precipitarían, originando, según lo dicho anteriormente, tanatos insolubles.

Análogamente, los alcaloides, en presencia de los taninos, precipitan en blanco ó permanecen disueltos en el jugo celular, según que éste sea neutro ó ácido respectivamente.

Finalmente, los taninos representan en los vegetales productos recrementicios ó excrementicios. El primer caso se realiza en los frutos carnosos (manzana), pues de una parte, y durante la maduración, los taninos se transforman lentamente en glucosa, neutralizándose de paso la acidez, acritud y astringencia que distingue á los frutos en su juventud; y de otra, contribuyen á la respiración de los parénquimas. Por esta razón los tejidos medulares del rosal, zarzamora, etc., pierden poco á poco sus vacuolas taníferas á medida que avanza la vegetación. El segundo caso, ó sea el de productos inútiles excrementicios ó destinados á permanecer indefinidamente en las células que los encierran, es frecuente en muchísimas plantas y principalmente en las cortezas y hojas del roble. Así localizadas, estas substancias contribuyen á la protección de las plantas, puesto que los animales herbívoros (babosas) no hieren á los vegetales provistos de taninos.

Este doble funcionamiento se opera en algunas plantas, que, como el rosal, produce al mismo tiempo compuestos tánicos

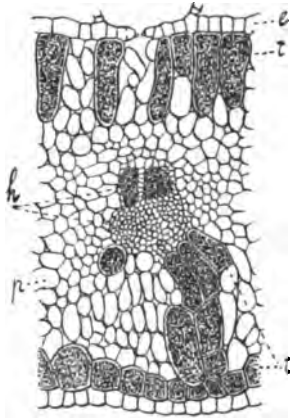


Fig. 149. — Sección transversal del limbo foliar del *Antbyllis genista*. — e, epidermis; t, células taníferas subepidérmicas y profundas; p, parénquima clorofílico; b, haccillos libero-leñosos.

recrementicios en la medula, y excrementicios en la corteza y bedegares (agallas).

Para observar en cortes microtómicos las localizaciones de tanino, en las células taníferas de las agallas; corteza del roble; células de la medula del rosal; verrucosidades celulares de la epidermis inferior de la hoja de *Villarsia*; corteza y estuche medular del sauce; corteza, estuche medular y radios medulares del avellano; corteza (epicarpio y mesocarpio) de la nuez; cortes transversales del saúco, cardo, alcochofa, *Anthyllis*,

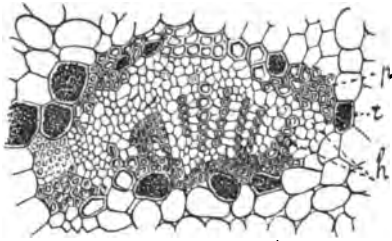


Fig. 150. — Fascículo meristémico medio del *Tetragomobus siliquosus*. — *b*, porción liberiana y leño-sa del haz; *p*, periciclo esclerificado; *t*, células taníferas pericíclicas.

etc., etc.; se usan, como reactivos principales, las sales de hierro, el bicromato potásico y el denominado *reactivo Gardiner*.

De las sales de hierro, la más comúnmente empleada es el *percloruro de hierro*. Esta sal, según la naturaleza del tanino, produce una coloración ó precipitado azul, verde ó pardo. La intensidad de la tinta está en relación con la producción de tanino y el grado de concentración del reactivo, hasta el punto de no producirse reacción alguna, aun cuando la cantidad de tanino sea notable, si la solución del reactivo es muy concentrada. Se aconseja por esto soluciones muy diluídas.

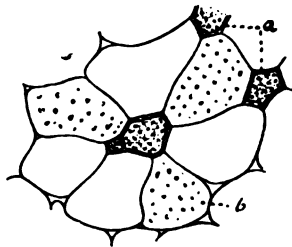


Fig. 151. — Corte transversal de la medula del *Rubus fruticosus*. — *a*, células taníferas; *b*, células con puntuaciones en el parénquima fundamental.

El percloruro de hierro es reemplazado con ventaja por el *pirofosfato de hierro y de sodio*, por *tartrato férrico potásico*, por *citrato de hierro amoniacal*, adicionado de una gota de *potasa* ó de *amoníaco*, y por otras distintas sales de la misma base.

De más aceptación por algunos autores es el *bicromato potásico*. Para usarlo, se tienen sumergidos los objetos durante varios días en una solución saturada de la citada sal; practicados después los cortes, se observarán, en cada una de las células taníferas, precipitados de color rojo parduzco.

Por último, es considerado en microquímica vegetal el *reactivo Gardiner* como el más característico para revelar la presencia de los taninos. Consiste en una solución concentrada de *molibdato amónico* con *cloruro amónico*, y debe usarse en el momento de su preparación, porque se altera con suma rapidez. Dicha solución produce en las células taníferas un abundante precipitado de color rojo anaranjado. Decimos que este reactivo es decisivo, porque los anteriores se comportan con otros cuerpos reductores del mismo modo que se ha indicado para el tanino.

Strasburger (1) cita para el reconocimiento de los taninos los siguientes ejemplos:

Practicada una sección diametral en la agalla del roble, se observa que el centro es una cavidad ocupada por larvas de *Cynips*, la cual se halla rodeada por una capa compuesta de células redondeadas con numerosos granos de almidón; ésta á su vez está envuelta por un tejido formado de células poligonales dispuestas radialmente, y termina en la periferia por una zona de pequeñas células espesadas que representa la epidermis.

Cualquier corte reciente realizado en una agalla joven, se colorea completamente en azul oscuro ó en verde, por la acción de una solución de sulfato ó de percloruro de hierro. Examinada esta acción química al microscopio, sirviéndose de un corte en seco al cual se hace llegar lentamente la solución férrica, se observa al principio la producción del precipitado, pero luego se disuelve en el reactivo reduciéndose á un líqui-

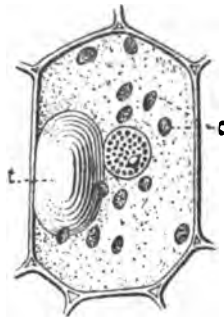


Fig. 152.—Célula de la vaina de la hoja del *Desmanthus plenus*. — *c*, cloroplastos; *t*, hidroplasmito ó vacuola tanífera.

(1) Strasburger, obra citada, págs. 61, 62 y 63.

do azul que rellena las células. Este fenómeno aparece muy debilitado en las células ricas en almidón ya indicadas.

Sustituyendo la sal férrica por una solución acuosa de bicromato de potasa al 10 por 100, se forma un precipitado espeso, rojo parduzco, que no se redissuelve en las células que contienen tanino.

Empleando, en vez de estos reactivos, el de Gardiner, se produce en las células taníferas un abundante precipitado rojo anaranjado.

En el sauce se opera del modo siguiente: despojado un ramo de la capa suberosa y practicando un corte tangencial en el tejido verde puesto al desnudo, las células de sección rectangular que lo forman, bajo la acción de una gota de percloruro de hierro, se enturbian y toman una coloración que varía del verde oliva al verde parduzco, merced al tanino encerrado en unas masas redondeadas muy refringentes y distintamente perceptibles antes de la acción del reactivo. Con los otros reactivos enumerados anteriormente, el precipitado es muy parecido á los manifestados en las agallas.

Esta observación microquímica puede hacerse también en los ramos del olivo.

#### ALDEHIDOS

Aun cuando directamente no ha podido demostrarse de un modo satisfactorio la existencia de estos productos, principalmente el aldehído fórmico (á causa de su desaparición apenas se origina, por efecto de rápidas combinaciones ó transformaciones intracelulares), es lo cierto que hay argumentos valiosísimos, si bien indirectos, que revelan su formación, como son: la presencia en las hojas del alcohol metílico y ácido fórmico, y el experimento curiosísimo de Bokorny respecto al cultivo de la *Spirogyra majuscula*, en una disolución de oximetilsulfito sódico en agua completamente exenta de ácido carbónico, que al descomponerse produce aldehído fórmico, único generador posible de la fécula ó almidón que en ella se forma.

Mas como quiera que Thouvenin (1), basado en los procedimientos de Lew y Bokorny, y en el de Pollacci, parece ser partidario de la presencia de dicho aldehído libre en el protoplasma viviente, indica-

(1) M. Thouvenin, *Précis de Microchimie végétale*: Paris, 1904, páginas 30, 31 y 32.

remos brevemente los medios de descubrir este producto en las células vegetales, traduciendo casi literalmente sus palabras.

Para delatar la presencia del aldehído en el protoplasma, Lew y Bokorny emplean una solución alcalina de nitrato de plata muy diluida.

El aldehído con este reactivo produce un precipitado de plata metálica, y el protoplasma toma un matiz negro muy pronunciado.

El reactivo se prepara: 1.º Obteniendo una disolución de nitrato de plata al 1 por 100. 2.º Se mezclan 13 c. c. de una solución de hidrato potásico (p. e. = 1,333), con 10 c. c. de amoniaco (p. e. = 0,964) y 77 c. c. de agua destilada.

En el momento de emplearlo, se mezcla 1 c. c. de cada una de estas soluciones en un litro de agua destilada.

El método de Pollacci, para reconocer la presencia del aldehído fórmico en los vegetales vivos, se funda en la coloración violeta que comunica este principio á una solución de *codetna* en presencia del *ácido sulfúrico*.

Aunque este procedimiento está fuera del dominio de la microquímica, tiene interés en la confirmación de algunas hipótesis sobre la asimilación, para demostrar la existencia del aldehído fórmico en los tejidos vegetales vivos.

Las hojas expuestas á la luz del día, se recogen cuando las reciben con más intensidad y se las tritura en un mortero; la pulpa resultante, humedecida con agua destilada, se somete á la destilación; recogidos los primeros productos de ésta, por la adición de *codetna* y *ácido sulfúrico* adquieren una coloración violeta debida á la presencia del aldehído fórmico.

Los otros aldehídos (acético, propílico, etc.) que pudieran encontrarse en el producto de la destilación, originan coloraciones diferentes.

#### 4.—Ácidos vegetales.

Son compuestos ternarios y por excepción cuaternarios, exentos por completo de nitrógeno.

Se encuentran en las células vegetales, ora libres y disueltos en el jugo celular, bien en combinación originando sales orgánicas, ó ya frecuente é indistintamente bajo las dos formas á la vez.

Se distinguen fácilmente los ácidos, porque la *fenoltaína* (*phenolphtaleína*), reactivo de color rojo ó rosa, según su concentración, se decolora en presencia de aquéllos.

Aun cuando se ignora en los ácidos el respectivo proceso de

formación en cada caso, su origen es debido, por un lado, á la transformación de los hidratos de carbono durante la actividad normal de la célula; por otro, á productos accesorios que resultan de la síntesis de las materias albuminoideas originadas por los amino-ácidos é hidratos de carbono; bien á una degeneración que el contenido protoplásmico experimenta en su descomposición lenta, pues al mismo tiempo que forma un cristal sobreviene la muerte de la célula, lignificándose la membrana; y finalmente, á la oxidación de los aldehidos, que abundan en los frutos y órganos verdes, y aun de los alcoholes.

Ciertos ácidos (málico, cítrico, tártrico) que diversos frutos contienen en gran proporción, quedan en estos órganos sin empleo ulterior, y constituyen, por consiguiente, *productos de eliminación*, excepción hecha de la porción de ellos que se somete á las combustiones respiratorias, y la que se destina á la transformación en azúcar durante la maduración.

En los órganos vegetativos, dichos ácidos representan, por el contrario, reservas nutritivas que la planta consume según sus necesidades. Así se explica que, colocadas en la obscuridad más ó menos tiempo, plantas en cuyas células abundan estos compuestos, como sucede generalmente al grupo de las Crasuláceas, continúan desarrollándose los órganos, dando origen además á otros brotes tiernos. Este fenómeno de crecimiento es tan sensible y curioso, que fácilmente puede ponerse de manifiesto sin más que examinar, pasados algunos días, las plantas crasas recientemente colocadas en los herbarios y no dispuestas con las condiciones debidas.

Resulta de esto que las plantas crasas acumulan durante la noche los ácidos orgánicos originados por transformación de los productos asimilados en el día, los cuales son reabsorbidos después si se prolonga la permanencia de aquéllas en la obscuridad.

Los ácidos vegetales, atendiendo al número de elementos de que están formados, se dividen en ternarios y cuaternarios. Entre los primeros, indicaremos como más abundantes los ácidos oxálico, cítrico, málico y tártrico; y mucho menos frecuentes, el fórmico (pelos de ortiga), agállico (flor de árnica), y el benzóico y cinámico (acompañando á los bálsamos). Y entre los segundos, el fosfo-orgánico, ó sea el ácido anhidroximetileno difosfórico.

**Acido oxálico** ( $C_2 H_2 O_4$ ).—Este ácido, extraordinariamente esparcido en los vegetales, se encuentra al estado libre y formando oxalatos, unos solubles (oxalato ácido ó neutro de potasio), otros insolubles (oxalato neutro de calcio cristalizado).

Las hojas del *Rumex acetosa* encierran ácido libre y oxalato de potasio (sal de acederas), y las semillas de altramuz contienen ácido oxálico y cítrico libres, y además oxalato de cal en disolución por la acción favorable de estos ácidos.

El ácido oxálico, aun en disolución muy diluída, constituye un veneno para el organismo vegetal que lo absorbe. Sólo los hongos inferiores resisten á su acción.

En efecto: una solución de ácido oxálico á la millonésima á los cinco días de actuar sobre el alga *Spirogyra*, ejerce un efecto destructor, como lo demuestra el aspecto de sus espirales clorofilicas. Análogo efecto y sobre la misma planta ocasiona á los cinco minutos de acción el oxalato de potasio en solución acuosa al uno por cincuenta.

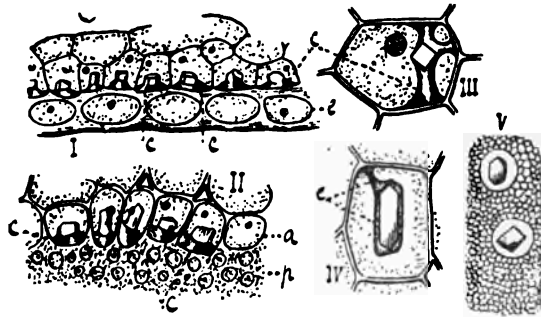
De aquí se deduce que el ácido oxálico libre que se halla en el altramuz, ó los oxalatos disueltos (*Rumex acetosa*), son sustancias que están forzosamente imposibilitadas para ejercer su acción nociva sobre el protoplasma y el núcleo, gracias á la impermeabilidad de la membrana de la vacuola que las encierra. El papel de estas sustancias en las plantas no es otro que el de defenderse contra los animales herbívoros.

Resulta de lo que precede que, en vista del efecto mortífero del ácido oxálico sobre las plantas, uno de los papeles más importantes de la cal consiste en inmovilizar dicho ácido formando oxalato insoluble, á medida que este principio tóxico se constituye. Estos cristales, salvo raras excepciones, una vez formados subsisten indefinidamente en la planta, sin experimentar alteración alguna, y representan verdaderos *productos de excreción*.

La producción del ácido oxálico está ligada, bien á la actividad normal de la célula, ora á su degeneración. En el primer caso, se origina en los focos de crecimiento, como producto accesorio, á consecuencia de la síntesis de las sustancias albuminoideas, ó sea en el proceso de combinación de los amino-ácidos con los hidratos de carbono. En el segundo, es debido á la descomposición lenta que experimenta el contenido protoplásmico en las células donde las membranas se incrus-

tan de lignina ó se revisten de un depósito mucilaginoso: esta descomposición es probable origine ácido oxálico, del mismo modo que la alteración química de la albúmina produce por hidratación, en el agua de barita en caliente, los ácidos orgánicos oxálico, acético, carbónico.

Ahora bien: como en ambos casos se forma oxalato de cal, las vesículas celulares en las cuales toman origen estos cristales, se incrustan de celulosa ó de productos análogos en todo su contorno (fig. 153, IV, c), y el saco celulósico así formado se espesa, sea de un solo lado (fig. 153, I, II), sea de varios



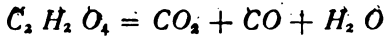
Figs. 153 á 157.—I, hoja de trébol (*Trifolium Lupinaster*): *c*, epidermis inferior; *c*, cristales de oxalato de cal con los sacos celulósicos.—II, hoja del *Trifolium elegans*: *a*, endodermo oxalífero; *c*, cristales con los sacos celulósicos; *p*, periciclo esclerificado.—III, célula oxalífera de la vaina foliar del *Anthyllis vulneraria*: *c*, saco del cristal con tres adherencias á la pared de la célula.—IV, célula oxalífera del limbo foliar de la *Psoralea plicata*: *c*, saco celulósico completo.—V, red protoplásmica con dos hidropásmos oxalíferos. (Belzung.)

(fig. 153, III), hasta ponerse en contacto con la membrana, formando un todo con ella (diversas leguminosas).

Se obtiene el ácido oxálico tratando el azúcar ó la fécula auxiliada del calor por el ácido nítrico; de esta manera quedan como residuo de la tumultuosa oxidación que se advierte en esta descomposición, en que se desprenden abundantes gases, las agujas cristalinas de ácido oxálico.

El ácido oxálico es un cuerpo blanco, soluble en agua, que por la acción del calor una parte se sublima y otra se descompone en los productos que se expresan en la siguiente reacción:





|               |                        |                        |      |
|---------------|------------------------|------------------------|------|
| ácido oxálico | anhidrido<br>carbónico | óxido<br>de<br>carbono | agua |
|---------------|------------------------|------------------------|------|

**Acido málico** ( $C_4 H_6 O_5$ ).—Se presenta en masas cristalinas formadas de agujas microscópicas muy delicuescentes.

Su disolución en el agua se precipita por el alcohol, y no se enturbia siquiera tratada por el agua de cal, lo que distingue á este ácido de los siguientes tártrico y cítrico.

Se halla en los frutos (pera, manzana, grosella, fresa), en los tallos y hojas carnosas de las Cactáceas (*Opuntia*), de las Crasuláceas (siemprevivas) y de otras plantas crasas correspondientes á familias distintas á éstas.

En todas estas plantas la producción de este ácido, acompañado casi siempre del cítrico, se efectúa en los órganos verdes durante el día; siendo la cantidad directamente proporcional al desarrollo de dichos órganos. Así resulta que es muy débil la formación de los ácidos en los recientes brotes extremos, tanto caulinos como foliares; aumenta considerablemente en el período de máximo desarrollo de los órganos, y decrece notablemente en las hojas inferiores, por ser las primeras generalmente que se degeneran y secan.

El ácido málico existe frecuentemente en combinación con el fosfato de calcio, dando lugar al malafosfato de cal (*Euforbias* crasas, dalias, *Angiopteris* (fig. 158) y otras plantas).

**Acido tártrico** ( $C_4 H_6 O_6$ ).—Este ácido es mucho menos frecuente y abundante que los ácidos precedentes, y está asociado á ellos allí donde se encuentra. Las uvas encierran en bastante proporción dicho ácido, al estado de bitartrato de potasio.

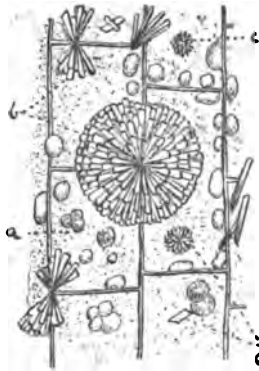


Fig. 158. — Corte longitudinal del peciolo del *Angiopteris erecta* (criptógama vascular) después de la acción prolongada en el alcohol. — c, cristales de oxalato de cal monoclínico y en drusas; b, cristales refringentes de malato neutro de cal pura; a, esferoides amorfos de malafosfato de cal.

Se reconocen microquímicamente el ácido tártrico y los tartratos alcalinos, porque con el cloruro de calcio se precipitan, dando lugar al bitartrato de cal que puede cristalizar en agujas, en tablas y frecuentemente en prismas transparentes y muy refringentes con numerosas facetas (fig. 159).

El ácido tártrico es de sabor ácido, agradable, soluble en poco más de su peso de agua á la temperatura ordinaria.

La disolución de ácido tártrico se precipita en blanco por el agua de cal. Dicho precipitado, al principio amorfo, adquiere pronto el aspecto cristalino.

Inversamente á la forma acicular del ácido málico, cristaliza el ácido tártrico en gruesos prismas clinorrómbicos, solubles en el agua y en el alcohol.

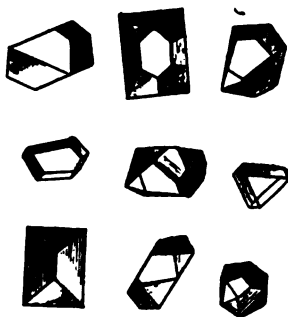


Fig. 159.—Cristales de bitartrato de calcio.

**Acido cítrico** ( $C_6 H_8 O_7$ ).—Este ácido, mezclado á los precedentes, se encuentra en diversos frutos (grosella, frambuesa, naranja, limón). Del jugo de este último fruto, que es donde principalmente abunda, se separa el ácido cítrico por evaporación, dando origen á cristales ortorrómbicos.

Se halla también en algunas semillas (*Lupinus albus*), y á su presencia se debe se encuentre en disolución el oxalato de cal en el jugo celular de estos órganos.

Neutralizando el extracto acuoso de estas semillas por el carbonato de cal con la ayuda del calor y evaporando el líquido filtrado, se precipita el *citrato de cal* pulverulento, cuyo polvo consiste en estero-cristales formados por finas agujas.

El agua de cal precipita la disolución de ácido cítrico hirviendo, lo que no se consigue en frío.

**Acido fórmico** ( $CH_2 O_2$ ).—Este ácido es relativamente raro en las plantas; ha sido revelada su presencia al estado libre en los pelos de la ortiga, y constituyendo el *formiato de cal* en los productos exosmóticos de la raíz del *Lepidium sativum*.

El bicloruro de mercurio en contacto del ácido fórmico, da

un precipitado de protocloruro de mercurio, llamado *calomelanos*, insoluble en ácido clorhídrico y que cristaliza en cubos microscópicos. Esta reacción permite descubrir el ácido fórmico allí donde se encuentre.

Es un líquido incoloro, fumante, cáustico, cuyos efectos irritantes en la piel son de todos conocidos, más denso que el agua, se solidifica y cristaliza á 0° y hierve á 104°.

**Acido agállico** ( $C_7 H_6 O_3$ ).—Este ácido, muy poco frecuente, se encuentra principalmente en la flor de árnica, cúpulas del *Quercus ægilops*, legumbres de *Cesalpinia coriaria*, semillas de *Mangifera indica*, y hojas del zumaque y la gayuba.

El ácido agállico tiene propiedades astringentes, á juzgar por los efectos de la flor de árnica, y de los taninos de los cuales deriva.

Parece originarse por hidrólisis de los taninos con la ayuda del fermento correspondiente, dando origen á ácido agállico y glucosa, que es el único medio de asimilarse las plantas aquellas substancias.

El ácido agállico precipita las sales de hierro en azul como algunos taninos, pero nunca la gelatina; diferencia esencial que nos sirve para no confundirlo con los taninos, cuyos caracteres son muy semejantes.

Con el *cianuro de potasio en solución acuosa*, se obtiene una coloración rosa no persistente.

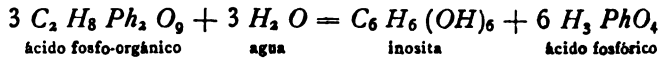
**Acido fosfo-orgánico** ( $C_2 H_8 Ph_2 O_9$ ).—Es un elemento orgánico nuevo que, según el Sr. Posternak (1), se halla depositado como reserva en las semillas del abeto, calabaza, guisante, lenteja, altramuz blanco y amarillo, en la patata, formando parte de los globoides según Pfeffer, y en la aleurona según Palladim y Schultze. Corresponde á la fórmula  $C_2 H_8 Ph_2 O_9$ , teniendo 70 ó 90 por 100 de fósforo, y en la que cuatro átomos de hidrógeno son susceptibles de ser reemplazados por metales monovalentes, y merced á esta cantidad tan notable de fósforo muy superior á la lecitina (1 á 7 por 100), supera á ésta en la nutrición del embrión.

Es un ácido tetrabásico que precipita todas las soluciones neutras ó ácidas de albuminoides de origen animal ó vegetal,

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (20 Julio 1903, pág. 202; 3 Agosto 1903, pág. 337; 24 Agosto 1903, pág. 439).

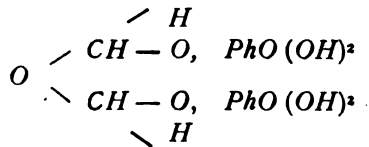
formando glóbulos enormes, que son solubles en los ácidos y los álcalis diluidos, en las sales neutras en frío y en el agua á la temperatura de ebullición, formándose otra vez el precipitado por enfriamiento, y resiste á la acción de los álcalis á 100°.

Dicho cuerpo, calentado con los ácidos minerales diluidos, experimenta una hidrolisis, dando lugar á inosita y ácido fosfórico.



En las células vegetales esta reacción se verificará probablemente con ayuda de algún fermento que pudiera llamarse *fosforina*, pues hasta ahora todas las hidrolisis son producidas por fermentos, y medio imprescindible para hacer soluble y utilizable por la planta el material en reserva ya indicado.

Posternak, á consecuencia de los análisis practicados por él sobre dicha substancia, le da el nombre de *ácido anhidroximetileno difosfórico*, cuya fórmula de constitución es la siguiente:



## CAPITULO II

### ALBUMINOIDES DE EVOLUCIÓN PROGRESIVA DISUELTOS EN EL JUGO CELULAR—DIASTASAS

**Albuminoides disueltos.**—Diversas substancias entre las agrupadas con el nombre genérico de *materias protéicas* y también de albuminoides, tomando como tipo la albúmina que forma la clara de huevo, se hallan casi siempre disueltas en el jugo celular. Todas ellas son consecuencia del proceso evolutivo y progresivo de las substancias alimenticias, pasando por los

estados de hidratos de carbono y éteres glicéricos para llegar al último peldaño de la escala ascendente ó asimiladora, ó sea á la constitución de los albuminoides.

Como más importantes entre ellos citaremos: la *albúmina propiamente dicha*, substancia directamente coagulable por el calor y que se encuentra en pequeña cantidad en la semilla del trigo; la *caseína vegetal*, albuminoide fosforado coagulable en presencia de los ácidos y muy abundante en las semillas de las leguminosas con el nombre de *legumina*, y la *lecitina*, albuminoide asimilable á las grasas por ser un éter de la glicerina formado por ácido graso y ácido fosfórico, que se halla en las hojas en período asimilativo, en las flores (estambres y pistilos); en el polen y en la semilla desempeña un papel fisiológico de importancia.

Se encuentra además la *caseína* en la parte soluble de los granos de aleurona. Para separar dicho albuminoide, se macera en agua el polvo de las semillas del altramuz, judías ó guisantes; se filtra el líquido y, por ebullición, se obtiene un abundante coágulo de *caseína* gracias al ácido cítrico del jugo (Belzung).

Las albúminas en disolución acuosa son precipitadas por los ácidos minerales y también por el cloruro mercúrico, subacetato de plomo, tanino, alcohol y por las sales minerales, principalmente sulfato amónico. Con el reactivo Krasser, ó sea con la solución alcohólica de aloxana, producen coloración roja.

Todos los albuminoides de composición química compleja, según se manifestó en la pág. 97, son amorfos, de estado coloidal ordinariamente, habiéndolos declarado por esto incristalizables, aunque hoy se los supone susceptibles de cristalizar, ya observando al microscopio los cristaloides de la *Bertolletia* y de los granos de aleurona del ricino, ya por experiencias practicadas en la albúmina (clara de huevo), que, por la acción deshidratante y progresiva del alcohol, ha llegado á adoptar aspecto cristalino, reconociéndose en el cuerpo así obtenido por cristalización fraccionada, la presencia de varias *albúminas sencillas* ó simples con sus respectivos poderes rotatorios.

## DIASTASAS

Llamadas también *zimazas, enzimas y fermentos solubles*, son productos que, á consecuencia del trabajo protoplásmico, se encuentran disueltos en el jugo celular ó en los hidropasmitos, con el fin de desempeñar el importantísimo papel fisiológico de contribuir eficazmente, no sólo á la transformación de las substancias insolubles en solubles, tornándolas así en asimilables, sino también á todo género de desdoblamientos, hidrolisis ó fermentaciones que en el interior ó en la porción periférica externa de la célula tengan lugar.

Se distinguen además porque pequenísimas cantidades de estas substancias son capaces de descomponer grandísimas de materia fermentescible, desapareciendo paulatinamente aquéllas á medida que se descompone ésta.

Son cuerpos neutros, precipitables por el alcohol, nitrogenados y de composición análoga á los albuminoides, difícilmente cristalizables, débilmente difusibles y fácilmente alterables por la acción de la luz solar ó de la electricidad, siendo principalmente las radiaciones azules y violetas las que intervienen en esta descomposición.

No resisten en general á las temperaturas de 60 á 70°, y son poco sensibles á bajas temperaturas: he aquí por qué toda disolución de substancia diastásica amilácea, sometida algunas horas á la temperatura de — 15°, conserva sus propiedades.

Se aíslan de ordinario, precipitando sus disoluciones por alcohol concentrado en exceso, resultando de este modo un polvo blanco ó grisáceo de diastasa mezclado con principios inertes.

El reconocimiento y localización de estos cuerpos en microquímica vegetal, puede realizarse con la ayuda del *reactivo de Millon* (Guignard).

Se prepara este líquido disolviendo en frío una parte de mercurio en su peso de ácido nítrico concentrado; terminada la disolución ayudada de un calor ligero, se añaden dos volúmenes de agua destilada. El líquido se decanta de los cristales que hayan podido formarse después de algunas horas.

El corte fresco adquiere al contacto del reactivo de Millon

un tinte negro, debido á la acción del protoplasma sobre la sal mercurial, mucho más pronunciado en las células con fermentos.

Calentando un poco la tinta negra desaparece, y en su lugar las células con diastasas toman una coloración anaranjada rojiza, mientras que el protoplasma de las células sin fermentos se tiñe de un rojo ladrillo muy débil.

Las diastasas representan fisiológicamente los agentes de digestión de reservas, y gracias á ellos, los alimentos insolubles depositados en las semillas y tubérculos, sufren en el momento de la germinación la acción hidrolítica, para que, transformados en solubles, sean transportados de este modo asimilable á los focos de crecimiento que han de alimentar (1).

No se crea, sin embargo, que la sola influencia del fermento ocasiona *per se* los desdoblamientos ó transformaciones intracelulares, pues para que el proceso tenga lugar son necesarias otras condiciones, y entre ellas el poderoso auxilio de substancias minerales ácidas, alcalinas ó metálicas. Así se explica que no se produzca la fermentación péctica sin que el fermento *pectasa* vaya acompañado del calcio; que la *pepsina* y *tripsina* actúen respectivamente en medios alcalinos ó ácidos, para conseguir ambas el cambio peptónico de las substancias albuminoideas; que la *amilasa* en medio ligeramente ácido contribuya á las transformaciones del almidón (véase páginas 131 á 136) para convertirlo en maltosa; y finalmente, que el manganeso tenga al parecer una influencia decisiva en los fermentos oxidantes conocidos hoy con el nombre de *oxidadas*.

Más todavía: sabiendo que las diastasas son originadas por el trabajo activo del protoplasma y que su misión principal en la vida de la célula, sea asociada ó aislada (*Bacillus*, *Saccaromyces*), es la transformación de las substancias en contacto con las condiciones necesarias para asimilar ó no los productos obtenidos, resulta que los seres vivos no son los verdaderos fermentos, como muy bien afirmó Berthelot en 1860; de modo

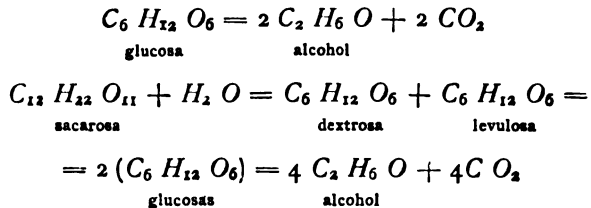
(1) Siendo tan importantes las diastasas en la vida vegetal, conviene nos detengamos algo en su estudio, pues á ellas se debe la transformación de las substancias *in vivo*, que, aun siendo semejantes, se distancian bastante con las operadas *in vitro*.

que el fermento tipo no es el *organizado*, sino el *soluble* segregado por él. Y no se diga en contra de lo expuesto, y como algunos botánicos sostienen sirviéndoles de argumento, el que los anestésicos, y entre ellos el cloroformo, no detiene las fermentaciones producidas por los fermentos solubles, y en cambio paraliza las originadas por los fermentos vivos; pues la supuesta objeción confirma más nuestra opinión, desde el momento que, paralizada la vida del sér vivo, se halla en el mismo caso la secreción ó elaboración diastásica protoplásmica, y, por tanto, la fermentación.

Uno de los experimentos más concluyentes que echa por tierra á los supuestos fermentos vivos, es el realizado por Buchner en 1897. Para ello, separó de un cultivo en fermentación, masa de levadura de cerveza; interpuso en dicha masa arena cuarzosa, y, después de prolongada trituración, sometió la pasta en la prensa hidráulica á la presión de 400 á 500 atmósferas, obteniendo un jugo que, después de filtrado á través de la porcelana, desarrollaba en las disoluciones de sacarosa, dextrosa, levulosa, etc., el desprendimiento de gas carbónico y otros productos accesorios con formación de alcohol, del mismo modo que el *Saccaromyces*.

Este fermento soluble separado se ha llamado *alcoholasa*: es de análoga constitución que la *invertasa*, muy abundante en dicho hongo, y como vemos, por sí é independientemente del sér vivo, produce la fermentación alcohólica de la glucosa.

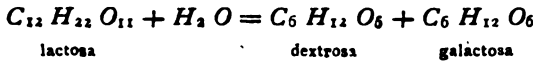
Dicha fermentación puede considerarse como un simple desdoblamiento del azúcar, el cual será *directo* para la glucosa é *indirecto* para las sacarosas que necesitan de la acción previa de la *invertasa* para desdoblarlas por hidrolisis en los dos azúcares consabidos, dextrosa y levulosa:



Un sér vivo puede elaborar diversas diastasas ó fermentos solubles para utilizarlas según convenga en el medio en que se encuentre.



Así, por ejemplo, el hongo *Saccaromyces cerevisiæ*, que produce tres zimastas, cuales son la *invertasa*, *alcoholasa* y *lactasa*, puede con esta última transformar por hidrólisis la lactosa ó azúcar de leche en dos glucosas, la dextrosa y galactosa



Del mismo modo el fermento *lactasa* de las Bacteriáceas (*Bacillus lacticus*, *Diospora caucasica*), actuando sobre la sacarosa ó glucosa, origina el ácido láctico por desdoblamiento indirecto y directo respectivamente.

Si sobre las sacarosas con desdoblamiento hidrolítico; mas como

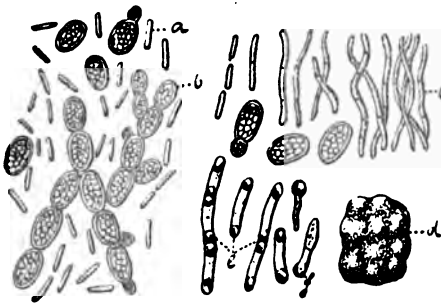
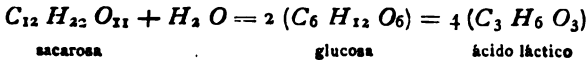
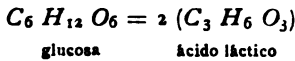


Fig 160.—Fermentos del Kefir. —a, *Bacillus* (*Diospora caucasica*); b, levadura (*Saccaromyces*); c, forma filamentosa del *Bacillus*; d, masa gelatinosa de los dos fermentos; e, formación de dos esporas por célula; f, germinación.

la glucosa no aparece libre en el líquido, se admite que fermenta á medida que se origina, dando lugar al ácido láctico.



Si actúa sobre la glucosa, produce el ácido láctico por desdoblamiento directo.



Ahora bien: asociados los dos fermentos *lactasas* en la simbiosis de la bacteria (*Diospora caucasica*) y el hongo (levadura) (fig. 160), y

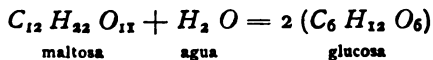
actuando sobre la leche de vacas ó la de burras, originan respectivamente el *Kefir* y *Koumiss*, que son dos bebidas alcohólicas y acidulas de un gran consumo, la primera en las regiones montañosas del Cáucaso, y la segunda al SE. de la Siberia, parte del Asia central y de Europa.

En ambas fermentaciones, la levadura segrega lo mismo que la bacteria el fermento *lactasa*; pero así como el del hongo es capaz de transformar la lactosa de la leche en dos glucosas (dextrosa y galactosa, que son la base fermentescible adecuada para que con la ayuda de la otra enzima *alcoholasa*, por el mismo hongo elaborada, produzca las bebidas alcohólicas antedichas), el fermento *lactasa* de la bacteria sirve para originar el ácido láctico favorable como alimento á la multiplicación de la levadura, y como antiséptico á la desorganización de todo germen putrefacto, incluso el *Micoderma aceti* que pudiera avinagrar los líquidos.

Aun cuando es difícilísimo comprender satisfactoriamente el interesantísimo papel que los fermentos desempeñan en las células tanto animales como vegetales, vamos á bosquejar con ejemplos el funcionamiento de cada uno de ellos por las acciones que al parecer producen, teniendo muy en cuenta que son múltiples los efectos, pues los hay hidratantes, deshidratantes, oxidantes, reductores, coagulantes, descoagulantes, y, finalmente, analíticos y sintéticos, llamados respectivamente descomponentes y componentes.

Preciso es advertir que cualquiera de las diastasas de una serie determinada, sirvan de ejemplo las hidratantes ó *hidrasas*, no hidrolizan todas las sustancias, pues no sólo cada grupo orgánico tiene su zimasa respectiva, sino que en muchos casos se limita la acción del fermento á una especie orgánica determinada: de aquí que comparase Fischer el sistema de la materia fermentable y su enzima á la cerradura y la llave respectiva.

Mas como el mismo fermento, según las condiciones en que se encuentre, puede producir efectos antagónicos, es decir, que en unos casos obra como hidratante



y en otros como deshidratante, tal sucede á veces en los amiloplasmitos



dependiendo sus efectos de la proporción relativa de los cuerpos expresados en cada uno de los términos de las anteriores igualdades, y modernamente se reconoce también que las diastatas son cuerpos de *naturaleza catalítica y labil* (1), resulta en definitiva que en los dos casos determina reacciones limitadas, cuyo límite será, como dice Carracido, el equilibrio químico establecido en el momento en que la acción hidratante y deshidratante se neutralizan.

Una de las funciones labiles más interesantes, razón por la que no ha podido demostrarse directamente su existencia en la célula vegetal, es el agrupamiento aldehídico  $C \begin{matrix} = O \\ \diagdown \\ H \end{matrix}$  en el cual el oxígeno ejerce una acción atractiva sobre el hidrógeno unido al carbono, pues

(1) **Noción de la labilidad.**—Se dice que una *posición labil* reina en una molécula, cuando un átomo se halla atraído simultáneamente por las afinidades de dos átomos vecinos, y animado de un movimiento oscilatorio, á consecuencia de esta doble atracción, posee la energía cinética bajo la forma de movimiento atómico continuo.

Existe una gran diferencia entre labilidad é inestabilidad.

Los compuestos *inestables* pueden contener gran cantidad de energía potencial, susceptible en un momento dado de transformarse instantáneamente en energía ó fuerza viva, dando lugar á las explosiones, como ocurre con la nitroglicerina, el fulminato de mercurio, etc.

Mientras que la *labilidad* es debida á la presencia de una energía cinética, cuyo fin es dirigir y organizar migraciones atómicas en el interior de la molécula, dando por resultado trabajos intramoleculares con desprendimiento de calor que nunca puede traducirse ni originar explosiones.

Por esta razón, un mismo átomo puede ocupar en distintas moléculas volúmenes diferentes según el papel que deba realizar. Así, por ejemplo, el oxígeno en la función aldehídica  $C \begin{matrix} = O \\ \diagdown \\ H \end{matrix}$  ocupa un volumen más considerable

que en el grupo oxidrilo (OH), siendo la relación de los dos de 1 á 0,6 respectivamente, y así de otras.

Y, por último, se dice que las diastatas son sustancias *catalíticas*, porque, con pequeñísimas porciones de materia, producen efectos enormes en los cuerpos fermentables.

aun cuando este cuerpo es generalmente tetravalente, en ocasiones actúa como bivalente. El átomo de hidrógeno, por consiguiente, está en perpetuo movimiento oscilatorio atraído simultáneamente por el oxígeno y el carbono, como indican las fórmulas siguientes:

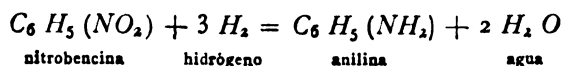


y de aquí que pueda formar compuestos de propiedades totalmente distintos, según el lugar donde se incline dicho hidrógeno.

Estas trasposiciones se aceleran con la elevación de temperatura, del mismo modo que, auxiliadas de ésta, son más capaces las sustancias de actuar por afinidad las unas con las otras.

Maş no terminan aquí los ejemplos en confirmación de la *labilidad* de las diastasas, sino que satisfaciendo una necesidad lógica manifestada por Traube en 1858, se ha reconocido la existencia de fermentos *oxidantes*; y también á consecuencia de los trabajos de Rey-Pailhade, otros antagonicos ó *reductores*, que así como los primeros, llamados *oxidadas*, se apoderan del oxígeno y lo conducen á las materias que en el organismo se oxidan con la suavidad que reclama la vida de los seres, otros, denominados *reductasas*, son portadores de hidrógeno, que combinado con el azufre origina el hidrógeno sulfurado.

Ahora bien: si, como dice Carracido, «suponemos contenido en la zimasa, siquiera momentáneamente, el hidrógeno reductor de la nitrobencina que la transforma en anilina más agua,



lógico es también suponer que el fermento se apodera del oxígeno, formando un compuesto inestable, del cual por disociación se separa el oxígeno activo que forma el agua resultante, patentizando una vez más la simultaneidad y correlación de las acciones reductoras y oxidantes.»

En suma: aun cuando por la *labilidad* pueda cualquiera diastasa producir en las sustancias fermentables efectos antagonicos según las condiciones en que opere, se hace preciso, para ordenar la lista, sino de todas las zimasas, por lo menos de las más principales, atender en primer lugar al grupo

funcional de cada una, y en segundo término á la distribución metódica de las materias fermentables sobre las cuales actúan.

Según esto, dividiremos las diastasas en *hidratantes*, según que produzcan descomposiciones con hidratación; *deshidratantes*, si originan alteraciones con desprendimiento de agua; *analíticas*, que efectúan análisis de las sustancias, dando lugar á cuerpos más sencillos; *sintéticas*, que favorecen á la combinación de las sustancias orgánicas; *oxidadas*, que originan oxidaciones, y *reductasas*, que efectúan reducciones.

I. **Diastasas hidratantes.**—Estas zimazas, que por algunos reciben el nombre de *hidrasas*, siguiendo el criterio químico de las materias que transforman, podemos subdividir las en fermentos hidrolizantes de: 1.º, hidratos de carbono; 2.º, glucósidos; 3.º, taninos; 4.º, cuerpos grasos; y 5.º, sustancias albuminoides.

1.º **Hidrasas actuando sobre hidratos de carbono.**—Estas diastasas, fijando por hidrolisis los elementos del agua, transforman los hidratos de carbono en varios cuerpos, de los cuales unos son solubles y asimilables. Entre ellas, enumeraremos como más importantes las siguientes:

*Citasa ó celulasa:* transforma las membranas celulares en glucosa, atravesando fases hidrolíticas análogas á las del almidón. Por esta acción, muy general en las semillas en germinación, todas las membranas celulares del albumen y las sustancias de consistencia córnea ú ósea, son totalmente digeridas por el embrión.

Este fermento es también elaborado por el *Bacillus amylobacter*, y gracias á él, se transforman en glucosa, además de otros varios principios, la membrana celular de los tejidos blandos, jóvenes y meristemáticos; ocasiona la liquefacción de la materia gomoso-péctica que une las fibras del lino, del cáñamo, etc.; y reduce el limbo de las hojas á su nerviación, destruyendo el parénquima blando que ocupa las mallas, cuando aquéllas son enterradas natural ó artificialmente en el légamo húmedo.

Por hidrolisis también las pentosanas ( $C_5 H_8 O_4$ )<sup>n</sup>, entre las cuales se encuentran las *arabanas* (de las membranas celulares no lignificadas) y las *xilanas* (de las membranas celulares lignificadas), se

transforman respectivamente en arabinosa (azúcar de goma) y xilosa (azúcar de paja), del grupo de las pentosas ( $C_5 H_{10} O_5$ ), á más de otros principios diversos.

*Amilasa*: es la diastasa propiamente dicha y desde muy antiguo conocida, que transforma el almidón en maltosa, según las fases hidrolíticas indicadas en las págs. 131 á 134.

*Maltasa*: transforma la maltosa en glucosa.

*Inulasa*: transforma la inulina en levulosa de un modo análogo al almidón.

*Pectasa*: convierte la pectina en ácido péctico. Es preciso advertir que esta transformación no se cumple sino en presencia de las sales de cal disueltas en el jugo, de modo que el ácido péctico pasa al estado de pectato de cal.

*Invertina*: desdobra la sacarosa en dextrosa y levulosa.

*Trehalasa*: produce la transformación de la trehalosa (azúcar de reserva de los hongos) en dextrosa.

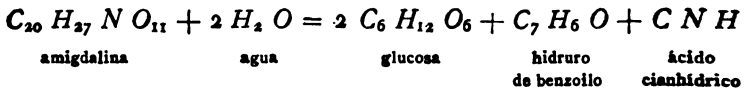
*Lactasa*: desdobra la lactosa en dextrosa y galactosa.

Las ecuaciones respectivas á todas estas reacciones hidrolíticas, son conocidas y no las repetiremos aquí.

2.º **Hidrasas de glucósidos.**—Producen hidrolisis sobre estas substancias, transformándolas en dextrosas y otros compuestos que son variables según el glucósido.

Recordaremos entre ellas como más principales las siguientes:

*Emulsina*: se encuentra principalmente en la semilla de las Amigdaláceas y Pomáceas y también en las hojas del *Cerasus Lauro cerasus*; y tiene la propiedad de transformar la *amigdalina*, glucósido que se halla en algunas células de las semillas y hojas de las plantas precitadas (á excepción de las almendras dulces), en los productos siguientes:



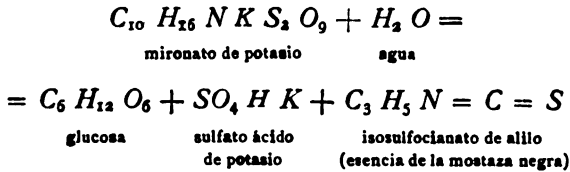
No se crea, sin embargo, que á pesar de estar provistos los órganos del glucósido y el fermento, la descomposición anunciada se realiza *ipso facto*, puesto que estando localizada la

emulsina en células distintas á las de la amigdalina, se hace necesario, para que ambos elementos se pongan en contacto y se provoque la hidrólisis, triturar ó machacar las hojas ó semillas en presencia del agua.

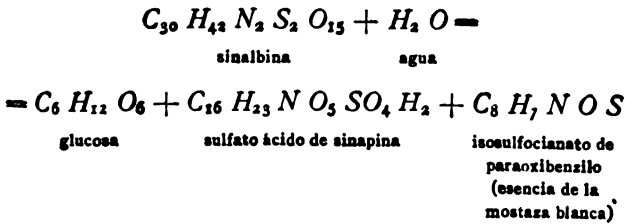
En el embrión de las almendras amargas, la emulsina está encerrada en células que bordean los haces vasculares, es decir, en los elementos pericíclicos y endodérmicos de los cotiledones. En cambio en las hojas del laurel cerezo, dicho fermento se halla en el endodermo, por estar esclerificadas ó endurecidas las células del periciclo.

*Mirosina*: este fermento caracteriza principalmente á las semillas de las Crucíferas, y también á las Caparídeas, Tropeoláceas y Resedáceas.

Transforma por hidrólisis el glucósido salino *sinigrina* (mironato de potasio), que encierra la semilla de la mostaza negra (*Sinapis nigra*), en glucosa, sulfato ácido de potasio y esencia de mostaza de la sinigrina (1).



Análogamente y con el mismo fermento, la *sinalbina*, glucósido de la semilla de la mostaza blanca (*Sinapis alba*), se transforma en glucosa, sulfato ácido de sinapina y esencia de la mostaza de la sinalbina.



(1) M. Emm. Pozzi-Escot, *Traité élémentaire de physico-chimie*: Paris, 1906, pág. 600.

Las células con mirosina están aisladas y diseminadas en el parénquima de la planta. En la raíz del rábano (fig. 161, *d*)

se hallan profusamente en la corteza y en el liber, mientras que en los cotiledones de sus semillas se encuentran en el periciclo. Se distinguen dichas células al microscopio, por su abundante contenido y la ausencia de clorofila y almidón; el ácido clorhídrico puro les comunica una tinta violada.

Es de notar que la dosis del fermento encerrado por la planta, es muy superior á la exigida para la completa descomposición del glucósido. Además, para que actúen ambos principios y se perciba el olor á la esencia, es imprescindible triturar las semillas ú órganos donde se encuentren en presencia del agua, es decir, de un modo semejante á lo expuesto en las amigdaláceas.

*Ramnosa*: este fermento desdobra análogamente la xantorramnina, glucósido de las semillas del *Rhamnus* en dextrosa y ramnina.

### 3.º Hidrasas sobre taninos.—

Diversos hongos, como el *Penicillium glaucum*, *Sterygmatoctistis nigra*, etc., segregan ó elaboran un fermento que pudiera denominarse *tanasa*, el cual desdobra por hidrolisis los taninos en diversos productos,

de los cuales los más principales son los que se indican en la reacción siguiente:

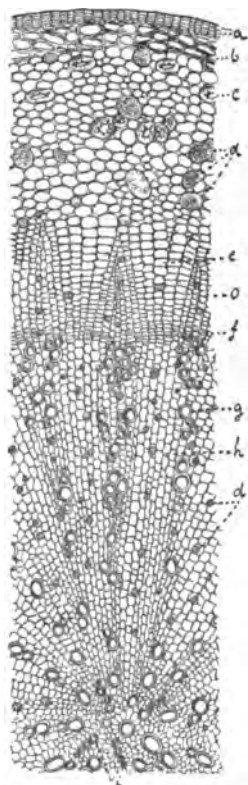
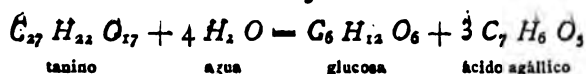


Fig. 161.— Corte transversal de la raíz del rábano.—*a*, capa suberosa; *b*, colénquima; *c*, células de esclerénquima; *d*, células con mirosina; *e*, radios secundarios de parénquima liberiano; *f*, zona generatriz ó meristemo secundario libero-leñoso; *g*, radios de parénquima leñoso; *h*, haces leñosos primarios (en número de cuatro).



209

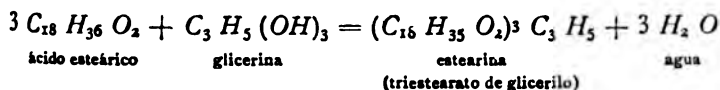


4.º **Hidrasas sobre los cuerpos grasos.**—Estos fermentos, fijando agua sobre las substancias grasas, contribuyen á la transformación de éstas en productos asimilables.

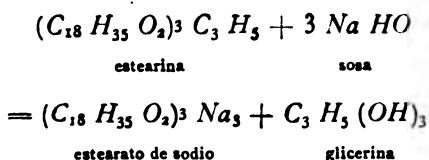
Citaremos como más importantes la saponasa, é indicaremos otros fermentos ya conocidos que producen la misma acción.

*Saponasa:* esta zimasa saponifica las grasas transformándolas probablemente en glicerina y ácido graso; y decimos probablemente, porque entre los productos obtenidos, no figura con el ácido graso la glicerina, debido sin duda, en armonía con las saponificaciones *in vitro*, á que el alcohol trivalente ó glicerina, á medida que se engendra, se oxida, polimeriza ó combina con principios nitrogenados para originar otros productos (véase digestión de grasas, pág. 157).

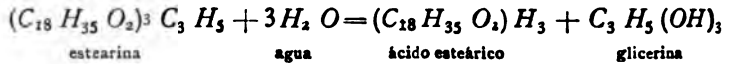
Sabemos que la estearina, cuerpo graso neutro, resulta de la combinación de tres moléculas de ácido esteárico y una molécula de glicerina con eliminación de tres moléculas de agua.



En presencia de los álcalis en caliente, y en esto se funda la fabricación de los jabones, los cuerpos grasos se resuelven en sus dos principios generadores; y como á medida que se aísla el ácido graso se une con el álcali, constituye así un jabón soluble, que puede ser duro ó blando según la base alcalina empleada (sosa ó potasa respectivamente), dando lugar al fenómeno de la saponificación.



El vapor de agua sobre-recalentada, separa sencillamente el ácido graso insoluble de la glicerina, disolviendo ésta en el agua.

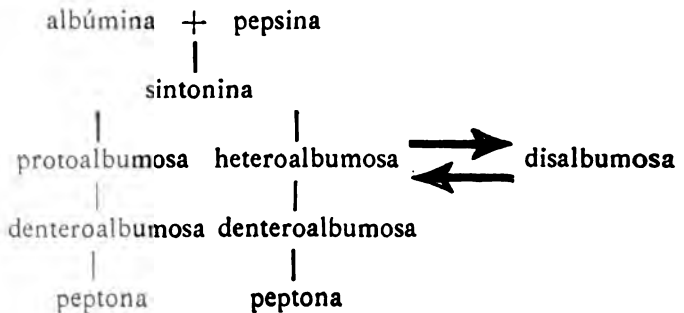


Se origina la saponasa en el momento mismo de la germinación de las semillas oleaginosas (ricino, etc.), y se aísla tratando por el alcohol el jugo acuoso extraído de dichos órganos vegetales.

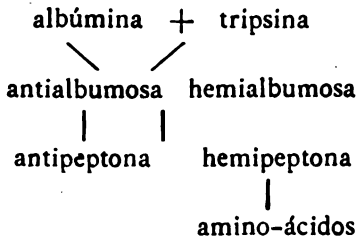
*Emulsina* y *mirosina*. Como, según las condiciones de medio, hemos dicho que un mismo fermento puede producir transformaciones diferentes, actuando, claro está, sobre sustancias diversas (véase pág. 202), las diastasas precitadas que funcionan normalmente sobre los glucósidos, extienden su acción y desdoblan los cuerpos grasos de un modo análogo á la saponasa, y recíprocamente ésta, en ocasiones adecuadas, efectúa hidrólisis semejantes sobre los glucósidos. Así se comprende que la saponasa de las semillas del *Papaver somniferum* transforme la amígdalina en glucosa, ácido cianhídrico é hidruro de benzoilo, de la misma manera que la emulsina.

5.º **Hidrasas sobre sustancias albuminoides.**—Estos fermentos proteohidrolíticos fijan el agua sobre las materias albuminoideas y las convierten en productos asimilables. Entre ellas se consideran la pepsina, tripsina, papaína y presura.

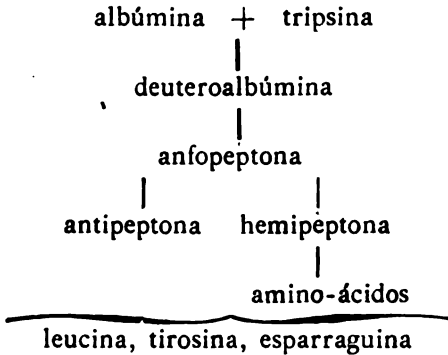
*Pepsina*: esta hidrasa transforma en *medio ácido* las sustancias albuminoideas en peptonas, originando antes los productos siguientes, según Pozzi Escott:



*Tripsina*: este fermento produce en medio alcalino, según Kühne, las transformaciones siguientes:



Hoy esta explicación ha sido desechada ante lo propuesto por Kossel.

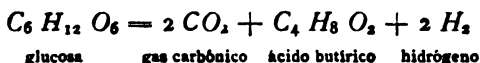


*Papaína*: especie de tripsina vegetal que se halla en el latex ó jugo lechoso de la *Carica papaya*.

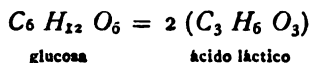
*Presura*: esta diastasa coagula la caseína vegetal, originando por desdoblamiento hidrolítico una sal insoluble de cal (*caseum*) y una materia albuminoidea soluble.

La pepsina y tripsina se forman en las semillas en el momento de germinar, para transformar en *peptonas* los albuminoides en reserva. Pero como á las peptonas en el interior de las células vegetales les sucede lo que á la glicerina, es decir, que no aparecen por ninguna parte, se supone con bastante fundamento que su estado transitorio es debido á que se convierten á medida que se engendran, mediante desdoblamientos más profundos, en principios más sencillos capaces





3.º La *lactasa* (del *Bacillus lacticus*), que actúa también sobre las glucosas y da lugar al ácido láctico.



Estos fenómenos descomponentes pueden realizarse en las sustancias (lactosa, sacarosa, maltosa), siempre que precedan sus desdoblamientos indirectos é hidrolíticos, originando de este modo las glucosas respectivas.

*Diastasis sintéticas.*—Muchos de los fenómenos diastásicos en las plantas conocidas, son realmente sintéticos, pues vemos que con elementos ó sustancias muy distintos se integran compuestos nuevos.

Uno de los fenómenos que en este concepto se manifiestan con toda claridad, es el curiosísimo de la *eterificación*. Existen, en efecto, zimases de eterificación, que contribuyen á la combinación de los alcoholes con los ácidos vegetales, originando éteres con desprendimiento de agua. Y esta síntesis es de tal importancia, como que á ella se deben dos funciones directamente armónicas, cuales son: la producción de gran número de *perfumes* que emanan de las plantas, así como la *clorovaporización*, ó sea el desprendimiento de agua en cantidad muy superior á la producida por transpiración.

He aquí por qué se supone como muy probable que todos los procesos sintéticos asimilativos ó de construcción en los organismos celulares ó pluricelulares, sean efectos de la influencia de los fermentos.

III. *Oxidases.*—Estos fermentos engendran y conducen el oxígeno sobre las materias que en el organismo se oxidan con suavidad. Aislados y descubiertos recientemente, satisfaciendo la concepción manifestada por Traube en 1858, hoy estos fermentos son numerosos en los seres vegetales (*Beggiatoa alba*, *Micrococcus aceti*), y gracias á las oxidases segregadas por ellos, así como á la influencia eficaz que en dichas zimases tienen el manganeso y otras sustancias inorgánicas de fácil oxidación, funcionan como cuerpos oxidantes energicos.

Se encuentran en gran número de órganos, como raíces (zanahoria, remolacha), hojas (trébol, alfalfa), frutos (manzana), y de sustancias orgánicas como el latex (*Rhus*), sin excluir abundantes plantas del grupo de los hongos y algas donde abundan considerablemente.

Citaremos entre ellas la *lacasa*, *tirosinasa*, *enoxidasa*, *boletasa*, etc.

La *lacasa* se ha extraído de los árboles que proporcionan laca (*Rhus*), y á su acción oxidante se debe la solidificación rápida en el aire del latex de estas plantas, originando así la laca. Esta oxidasa actúa sobre la hidroquinona y el pirogalol, dando lugar á la quinona y purpuragalol respectivamente.



La *tirosinasa* oxida la tirosina, dando lugar á una materia colorante pardo-rojiza, que se observa en ciertos hongos, señaladamente en el género *Russula*, á consecuencia de la tirosina producida en la descomposición nitrogenada de los albuminoides; la *enoxidasa* oxida los ácidos enólicos del vino, constituyendo las materias colorantes de éste, y la *boletasa* oxida el boletol.

Las oxidadas de las bacteriáceas producen igualmente fenómenos muy diversos. Así acontece que la del *Micrococcus aceti* oxida el alcohol etílico y lo transforma en ácido acético; la del *Micrococcus nitrosus* oxida las sustancias amoniacales del suelo, dando lugar á nitritos, y sucesivamente la oxidasa del *Micrococcus nitricus* transforma por oxidación los nitritos y los transforma en nitratos. (Véase el alimento en fisiología.) Y, por último, las respectivas á las *sulfobacterias*, llamadas también *thiobacterias* ó *sulfurarias*, unas incoloras (*Beggiatoa alba*), otras rosadas (*Thiocistus*), oxidan el hidrógeno sulfurado de las aguas donde viven, aislando de esta oxidación granillos opacos de azufre, solubles en el éter y en el sulfuro de carbono, que se acumulan en el seno de las células de estos seres (véase pág. 162). Este azufre se transforma después por oxidación en ácido sulfúrico, el cual, en presencia de las sales cálcicas de las mismas aguas, da lugar al sulfato de cal (yeso).

Se distinguen estos fermentos oxidantes porque azulean directamente con la *tintura de guayaco*. Esta coloración puede

observarse tratando con dicho reactivo cortes frescos de raíces de remolacha y zanahoria.

IV. **Reductasas.**—Las diastasas reductoras son poco conocidas todavía, y las hoy manifestadas actúan principalmente sobre las materias fermentables por hidrogenación.

Rey-Pailhade extrajo de la levadura alta y de ciertos tejidos vegetales frescos, una substancia á la que dió el nombre de *hidrogenasa*, que, triturada con el azufre, determina la producción de hidrógeno sulfurado.

Mas como el número de substancias diastásicas de este género ha aumentado con los trabajos de Pozzi Escott, el cual ha demostrado que estas materias, abundantes en la naturaleza, hidrogenan el selenio, reducen los nitratos y se manifiestan con propiedades catalíticas enérgicas ante el agua oxigenada, hechos que después han sido confirmados en América por Kastle y Læwenhardt, y en el Japón por O. Læw, se ha admitido la existencia de estas antioxidadas dándoles el nombre de *reductasas*.

Se encuentran principalmente en las Bacteriáceas que pululan en las aguas inmundas, originando el hidrógeno sulfurado por reducción de las materias que contienen azufre en su constitución.

Para dar lugar á esta transformación, que lleva el nombre de *fermentación sulfhídrica*, es suficiente abandonar en aguas estancadas y provistas de materias orgánicas, sulfato de cal. De este modo se engendra el hidrógeno sulfurado, que á su vez puede ser oxidado y convertido parcialmente en azufre por las oxidadas de las sulfobacterias, como antes se ha dicho.

Análogamente, el azufre de las materias albuminoideas (clara de huevo, gluten) se transforma en hidrógeno sulfurado en el curso de la putrefacción. Y, por último, la fermentación sulfhídrica que se opera en los intestinos, reconoce por causa la reducción de los sulfatos del agua y jugos vegetales, y del azufre que encierran en su constitución las substancias albuminoideas.

Estos fermentos, como todos los demás, á excepción de las oxidadas, necesitan el concurso del agua oxigenada para que la tintura de guayaco las coloree de azul.

Finalmente, para no inducir á errores, estamos obligados á declarar que las reacciones diastásicas manifestadas en las

células vegetales, no son tan sencillas como á primera vista pudiera creerse, á juzgar por las sucintas ecuaciones presentadas, pues hay muchos motivos para creer que existen siempre en toda clase de fermentaciones serie de reacciones superpuestas y encadenadas, cuyos términos conducen por vías diferentes á la producción, sucesiva ó simultánea, de varios cuerpos que no se expresan en las ecuaciones finales, de un modo análogo á las fases que atraviesan las poliosas ó exanas (véase almidón, págs. 131 á 136) y materias albuminoideas, para transformarse por hidrolisis en glucosa y amino-ácidos respectivamente.

### CAPÍTULO III

#### SUBSTANCIAS ALBUMINOIDAS REGRESIVAS—PEPTONAS, AMINO-ÁCIDOS, ALCALOIDES, COMPUESTOS PÚRICOS—SALES MINERALES—PIGMENTOS

**Substancias metamórfico-regresivas de los albuminoides.**—Damos este nombre á todas aquellas materias nitrogenadas procedentes de la descomposición natural de los albuminoides.

No cabe duda que siendo los albuminoides sustancias muy nitrogenadas, han de serlo también los productos de su descomposición. Esta se realiza descendiendo los albuminoides (sustancias en estado máximo de complejidad) por la misma escala nutritiva que, ascendiendo, siguieron los cuerpos componentes que engendraron aquéllos, dando lugar, ora por desdoblamientos hidrolíticos, bien por oxidaciones ó por procedimientos incógnitos que la célula en su período vital emplea, á transformaciones ó compuestos nitrogenados más sencillos que el organismo reasimila ó elimina, según sean ó no necesarios á la vida del sér, ó recombina ulteriormente algunos de los grupos moleculares disociados, para reconstruir otra vez los albuminoides y activar nuevamente y con este factor esencialísimo la multiplicación celular.

Entre estas sustancias metamórfico-regresivas, estudiaremos principalmente las *peptonas*, *amino-ácidos*, *alcaloides* y *compuestos púricos*.



1. **Peptonas.**—Estas sustancias representan el límite de la transformación hidrolítica de los albuminoides bajo la acción eficazísima de los fermentos.

En efecto: las semillas, en el momento de comenzar la germinación y de brotar el embrión, originan y desarrollan la pepsina ó tripsina, fermentos que actúan en medio ácido ó alcalino respectivamente para transformar por hidrolisis los albuminoides de reserva (gluten ó aleurona, cristaloides) en *peptonas*. Pero como estas peptonas, al presente desconocidas, no son estables, sino transitorias y fugaces, sufren á medida que se producen una descomposición más profunda que da por resultado principios nitrogenados más sencillos disueltos en el jugo celular y cristalizables, denominados *amino-ácidos* (1).

2. **Amino-ácidos.**—Estos compuestos nitrogenados, de fórmula general de constitución  $C_n H_{2n} \begin{matrix} \text{NH}_2 \\ \text{CO, HO} \end{matrix}$  cristalizan

por concentración del jugo celular donde se hallan disueltos, y también tratando dicho jugo por el alcohol, glicerina y ácido clorhídrico. Se obtienen en química deshidratando las sales amoniacales constituídas por ácidos orgánicos, en términos que pierdan una molécula de agua por cada grupo carboxílico, y tienen el importante carácter de regenerar las sales amoniacales por hidratación.

Estos productos son tanto más abundantes en los recientes órganos vegetativos, cuanto más aleúricas son las semillas que les originan.

Proceden, según se ha dicho anteriormente, de la descomposición profunda de las peptonas, y representan, á pesar de estar desprovistas de los caracteres de los albuminoides, las formas asimilables de éstos. Decimos esto, porque los *amino-ácidos* disueltos en el jugo celular de los primeros brotes vegetativos, procedentes de la germinación de las semillas, se combinan con las *glucosas* elaboradas por dichos órganos en sus procesos de vida activa, máxime si la formación de estos hidratos de carbono está encomendada á los protoplasmitos clorofílicos, resultando de dicha combinación *amino-glucósida* la reconstrucción de los albuminoides, que activan con

(1) No son, por tanto, amidas, cuya fórmula es  $C_n H_{2n+1} - CONH_2$ .

su energía la proliferación celular. He aquí condensado en breves palabras todo el fundamento fisiológico de la destrucción y reconstrucción de los albuminoides, después de haber atravesado los estados peptónico y amino-ácido, ó transitorio y definitivo respectivamente.

Los amino-ácidos más importantes que encontramos en los vegetales son: la *esparraguina*, *leucina*, *tirosina* y *glutamina*. Estos cuerpos pueden coexistir en la misma planta en vía de germinación, en número de dos, tres ó los cuatro, como sucede en el eje hipocotíleo de la calabaza.

**Esparraguina** ( $C_4 H_8 N_2 O_3$ ).—Este cuerpo es una de las formas

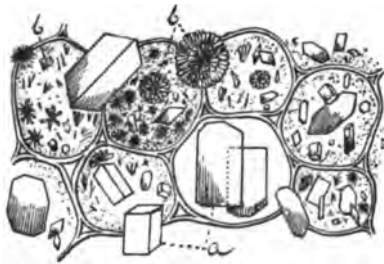


Fig. 162.—Parénquima medular del eje hipocotíleo (4 cm.) del *Lupinus albus*, previamente macerado y sumergido en glicerina pura. —a prismas y tablas de esparraguina; b, esfero-cristales lamelares de leucina y láminas aisladas de la misma substancia.

asimilables del nitrógeno y más esparcidas en los vegetales. Se encuentra disuelta en el jugo celular en los brotes tiernos y jóvenes (*Ulmus*, *Spiræa*), y muy especialmente en los vástagos subterráneos del espárrago y otras plantas; por esto se acumula con preferencia en los ejes hipocotíleos (altramuz, guisante, lenteja) procedentes de semillas ricas en aleurona.

El alcohol concentrado, lo mismo que la glicerina pura, precipita este amino-ácido al estado cristalino, dando lugar á bellas cristalizaciones intracelulares (fig. 162, a) que presentan formas prismáticas y tabulares correspondientes al sistema ortorrómbico.

Para conseguir este resultado, se elige el altramuz, y practicando cortes frescos en su eje hipocotíleo (cuyo desarrollo no exceda de tres á cuatro centímetros de longitud), se sumergen éstos en la glicerina pura, abandonándolos en dicho líquido por espacio de uno ó dos días, durante los cuales la glicerina provoca por concentración del jugo celular una exósmosis más rápida de agua que de esparraguina, finalizando por cristalizar este amino-ácido.

Mas como con la glicerina precipitan otros cuerpos distintos á la esparraguina, se hace preciso, para descubrir ésta, efectuar repetidos lavados en alcohol con el fin de limpiar el corte de la glicerina, y después de bien lavado y evaporado el alcohol, se trata el corte por una *solución saturada de esparraguina*, con cuyo reactivo todos los cuerpos diferentes á la esparraguina quedan disueltos como si fuera sal común en agua pura.

Puede también cristalizar la esparraguina introduciendo en alcohol absoluto cortes microtómicos ó plantitas enteras del *Lupinus albus* recientemente germinadas. En ambos casos y como consecuencia de la exósmosis del jugo, se percibe la formación paulatina de pequeños cristales transparentes de esparraguina. Este fenómeno, que tratándose de la planta entera se realiza en toda la superficie de la misma, si nos referimos á los cortes se opera en el interior de las células, formando en general agrupamientos irregulares de esparraguina.

Sin embargo, como los cristales así obtenidos resultan imperfectamente caracterizados, y pudieran confundirse con otros no de esparraguina, es necesario tratar además los cortes, después de la evaporación del alcohol, por una solución concentrada de esparraguina, como ya sabemos.

Si no existiera más que una pequeña cantidad de esparraguina, se colocan inmediatamente los cortes en los porta-objetos, y recubriéndolos de alcohol absoluto y de los cubres respectivos, se espera á que se haya evaporado todo el alcohol para hacer la observación microscópica.

**Leucina** ( $C_6 H_{13} NO_2$ ).—Este amino-ácido, como el anterior, abunda bastante en el jugo celular y ha sido extraído de algunas plantas (*Vicia*, *Cucurbita*), y más principalmente del *Lupinus albus* (altramuz blanco).

Mas como en esta última planta las cantidades disueltas de estos cuerpos son suficientes para saturar el jugo celular, no por eso cristalizan de un modo natural en el interior de las células, oponiéndose, según parece, los principios albuminoides y otras substancias que les acompañan.

Podemos observar, sin embargo, la cristalización de la leucina, siguiendo el procedimiento experimental señalado para la precipitación de la esparraguina, ó sea abandonar en una gota de glicerina concentrada cortes frescos del eje hipocotileo del *Lupinus albus*; los que, observados al cabo de veinticuatro

horas, presentarán en el interior de sus células infinidad de esferoides, laminillas aisladas ó agrupadas en estrella de esta substancia (fig. 163, *b*), acompañados frecuentemente de cristales de esparraguina (véase fig. 162, *a*).

**Tirosina** ( $C_9H_{11}NO_3$ ).—Esta substancia, asociada con la esparraguina, es elaborada en gran proporción en los ejes hipocotíleos del altramuz amarillo (*Lupinus luteus*), y en los tubérculos de la dalia; y existe también, si bien en pequeña cantidad, en los ejes hipocotíleos de la *Vicia* y *Cucurbita*.

Es muy poco soluble en el agua y no ha podido obtenerse cristalizada en el interior de las células. Solamente extrayendo el jugo y por concentración, cristaliza la tirosina en agujas microscópicas rígidas, libres ó agrupadas en pinceles sencillos ó dobles, y también en esfero-cristales apretados de superficie erizada.

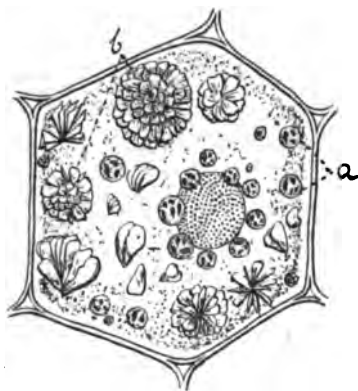


Fig. 163.—Célula del parénquima (eje hipocotileo (4 cm.) del *Lupinus albus*) después de su inmersión en glicerina pura.—*a*, cloroplastos con restos de almidón transitorio; *b*, leucina.

**Glutamina** ( $C_5H_{10}N_2O_3$ ).—Es notable este aminoácido, que sólo se halla en la calabaza, porque rehusa cristalizar en el jugo concentrado. Por esto, transformándolo en ácido glutámico, cuerpo que

resulta de la acción del ácido clorhídrico sobre el jugo de la planta, es como únicamente ha podido revelarse su existencia.

**3. Alcaloides.**—Son compuestos nitrogenados, variables en composición dentro de la agrupación cuaternaria (*C. H. N. O.*) ó ternaria (*C. H. N.*), y procedentes de la descomposición ó destrucción progresiva de los albuminoides.

Los alcaloides son muy venenosos y constituyen generalmente medicamentos poderosos que han dilatado el campo de la terapéutica. Muchos de ellos son reasimilables por la planta, y otros parece desempeñan un papel protector y defensivo contra los ataques de los animales.

Se encuentran en el jugo celular combinados con los ácidos orgánicos, formando sales, y se les dió el nombre de alcaloides por sus semejanzas con las bases minerales alcalinas respecto á la neutralización de los ácidos.

Se obtienen descomponiendo la sal que naturalmente existe formada en la planta por los álcalis minerales, como el amoníaco, precipitándose en este caso el alcaloide. El disolvente más ordinariamente empleado para aislar los alcaloides, es el alcohol, y mejor el *alcohol acidulado con ácido tártrico*. Este reactivo tiene la ventaja de coagular las materias albuminoideas, disolviendo los alcaloides, cuya separación tiene su importancia, puesto que los albuminoides presentan reacciones muy análogas á los alcaloides.

Los alcaloides procedentes de las plantas superiores, pueden dividirse en *cuaternarios* y *ternarios*.

Entre los primeros, generalmente *sólidos, de sabor amargo y fijos*, podemos enumerar: la *quinina* ( $C_{20} H_{24} N_2 O_4$ ) febrífuga, muy abundante en las cortezas de las quinas amarillas (*Cinchona calisaya*); *cinconina* ( $C_{20} H_{24} N_2 O$ ) tónica y extraída de las quinas grises (*C. huanuco*); *morfina* ( $C_{17} H_{19} NO$ ) extraída del latex espeso de los frutos (cajas del *Papaver somniferum*); *atropina* ( $C_{17} HNO_3$ ) de la *Atropa Belladonna*; *estricnina* ( $C_{21} H_{22} N_2 O_2$ ), uno de los venenos más violentos que se extraen de la semilla del *Strychnos*, *Nux vomica* y otros muchos.

Entre los segundos, generalmente *líquidos y volátiles*, recordaremos la *nicotina* ( $C_{10} H_{14} N_2$ ), principio activo del tabaco (*Nicotiana*); *cicutina* ( $C_8 H_{15} N$ ), alcaloide de la *Cicuta virosa*; la *esparteina*, y algún otro.

Además de estos alcaloides engendrados por las plantas superiores, indicaremos, entre los extraídos de los vegetales inferiores, la *colina* ( $C_5 H_{15} NO_2$ ) y la *muscarina* ( $C_5 H_{15} NO_3$ ) del *Agaricus muscarius*; y también los segregados por bacterias infecciosas y cadavéricas, que, con el nombre de *toxinas bacterianas* y el de *ptomainas*, contribuyen respectivamente á las enfermedades infecciosas y á la destrucción completa de la materia organizada animal.

El *origen* de los alcaloides y su desarrollo en los órganos vegetativos, es debido (lo mismo que en los amino-ácidos) á desdoblamientos de las substancias protéicas que en reserva

almacenan las semillas de donde dichos órganos proceden por vía germinativa, para acumularse ulteriormente y con preferencia en los extremos meristémicos ó conos vegetativos.

Es raro y excepcional, aun cuando nada tiene de extraño según el origen antedicho, que ciertas plantas, como la adormidera, tabaco, estramonio y patata, desarrollen con abundancia los alcaloides en el aparato vegetativo, y, en cambio, sus semillas sean inofensivas y no delaten químicamente el menor indicio de principios alcaloídicos.

Los alcaloides, nunca esparcidos en el parénquima entero del órgano considerado, son, en cambio, elaborados y encerrados por elementos celulares determinados (como pue-

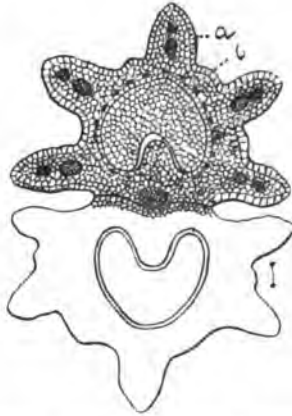


Fig. 164.—Fruto diaquenio del *Conium maculatum*.—I: a, costilla primaria; b, surco con costilla secundaria.

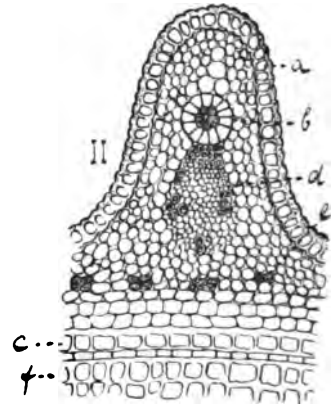


Fig. 165.—Fruto diaquenio del *Conium maculatum*.—II, una costilla primaria observada con mayor aumento; a, epidermis; b, canal secretor con aceite esencial provisto de su vaina especial; c, células cúbicas del tegumento seminal con conicina; d, hacecillos libero-leñosos; e, canales secretores sin vaina; f, albumen.

de observarse en las células cúbicas del tegumento seminal del *Conium maculatum*) (fig. 165, c), en las células del albumen de la nuez vómica y en las células pericíclicas y perimedulares de las solanáceas (fig. 166).

Se acumulan de preferencia en los extremos meristémicos vegetativos, á partir de los cuales la concentración disminuye hasta corta distancia de las células iniciales.

Para reconocerlos microquímicamente, se utilizan distintos

reactivos: el *yoduro potásico yodurado*, *cloruro de oro*, *cloruro de platino*, *ácido picrico*, *ácido fosfomolibdico*, *bicloruro de mercurio*, *yoduro de mercurio* y de *potasio*, que precipitan los alcaloides en el interior de las células.

En general, los reactivos precipitantes de los alcaloides, lo son al mismo tiempo de las sustancias albuminoideas: para establecer la distinción entre ambos, se obtienen dos secciones del mismo órgano objeto de ensayo, una de las cuales se despoja de los alcaloides que pudiera contener, macerándola por espacio de una á veinticuatro horas en *alcohol absoluto*, ó en una mezcla de *alcohol* y *ácido clorhídrico*, ó finalmente, por la insistente ó repetida acción de una disolución alcohólica al 5 por 100 de ácido tártrico, cuyos líquidos producen también la coagulación de los albuminoides.

Actuando los reactivos indicados sobre ambas secciones, se puede deducir comparativamente los precipitados correspondientes á los alcaloides, puesto que los de las sustancias albuminoideas serán comunes á ambas.

Se indica como procedimiento para la precipitación exclusiva de los alcaloides, la solución de *yoduro potásico yodurado* adicionada de *carbonato amónico*.

La acción de un solo reactivo no sirve en general como prueba decisiva de la presencia de los alcaloides, por lo cual se precisa ensayar otros varios que confirmen y sirvan de complemento á los primeramente empleados.

Detallaremos algunos de los indicados, haciendo la exposición de otros muy interesantes.

El *yoduro potásico yodurado* se emplea en solución acuosa, produciendo un precipitado de color rojo parduzco, soluble en

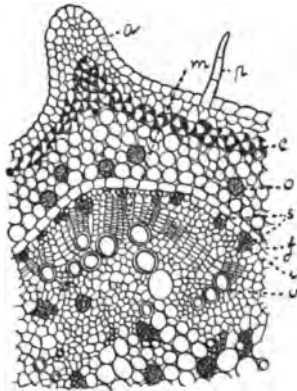


Fig. 166. — Sección transversal del tallo del *Solanum tuberosum* (patata).—*a*, epidermis; *m*, meristemo libero-leñoso; *p*, pelo articulado; *c*, colénquima; *o*, células con oxalato de cal granuloso; *f*, endodermo; *s*, grupos de células pericíclicas con solanina; *i*, vasos cribosos; *v*, vasos del leño.

hiposulfito de sosa. Los cloruros de oro, de platino y el ácido pícrico, en solución acuosa saturada, precipitan en amarillo. El bicloruro de mercurio, en solución también acuosa, y los taninos, en blanco.

*Reactivo Dragendorff.*—Para prepararlo, se disuelve en poca cantidad de agua, 27 gramos de yoduro potásico, y en otra solución distinta, 8 gramos de nitrato de bismuto básico en 20 c. c. de ácido nítrico. Mezcladas ambas soluciones y frías para que cristalicen, se decanta el líquido claro y se dilata en agua hasta obtener 100 gramos de reactivo. Precipita los alcaloides en rojo anaranjado.

Según *Frohn*, se puede obtener también el reactivo precipitado disolviendo y calentando hasta la ebullición, en 20 gramos de agua, 1,5 gramos de subnitrato de bismuto fresco, y añadiendo 7 gramos de yoduro de potasio y 20 gotas de ácido clorhídrico. El color del precipitado que determina es rojo parduzco.

*Mangini* hace la modificación siguiente: disuelve en tres partes de ácido clorhídrico, tres de yoduro potásico y diez y seis de yoduro de bismuto. El precipitado que se obtiene es de color pardo. Este método tiene sobre el de Dragendorff la ventaja de permanecer limpio por disolución acuosa.

Los reactivos de *Mandelin* y de *Fræhde* ya indicados (página 182), sin precipitar los alcaloides, originan coloraciones diversas.

Todos estos reactivos citados son generales á los alcaloides; hay otros especiales para averiguar el alcaloide de que se trata en cada caso. Sin dar más extensión á esta materia, exponremos como ejemplo el empleado en el reconocimiento de la *estricnina* que se halla esparcida en el albumen de la nuez vómica, y que mediante la acción sucesiva del ácido sulfúrico concentrado y clorato potásico, adquiere una coloración verde.

**4. Compuestos púricos.**—Por la importancia que tiene en citología vegetal, estudiaremos únicamente, entre las sustancias agrupadas bajo esta moderna y química denominación, que también recibe el nombre de *bases nucleicas* por ser producto de la hidrólisis de los ácidos nucleínicos, á la *xantina*, de la cual derivan la *teobromina* ó dimetilxantina, y la *cofeina* ó trimetilxantina.

**Xantina**  $C_8 H_4 N_4 O_2$ .—No difiere este cuerpo del ácido úrico



animal, según se deduce de su fórmula empírica, sino en un átomo menos de oxígeno. Es un compuesto más sencillo que cualquiera de los alcaloides, y análogamente á los ureidos da agua por hidrólisis.

Se diferencia además de los alcaloides, con los que antes estaba reunido, porque no precipita por los reactivos siguientes: ácido pícrico, yoduro mercúrico potásico acidulado con ácido acético (reactivo Tanré), yoduro mercúrico potásico acidulado con ácido clorhídrico (reactivo de Brücke), etcétera, y también porque no se descompone, como los alcaloides, en piridina ó amoniaco.

Su formación en el organismo vegetal es una consecuencia de los desdoblamientos sufridos por las materias protéicas, que se hallan en reserva en las semillas, motivada probablemente de una oxidación seguida de deshidratación. Así se comprende que los órganos vegetativos de las plantas recién nacidas, como sucede al garbanzo, almacenen en gran cantidad este producto en el jugo de sus células.

Es insoluble en el alcohol y la glicerina; y sirviéndonos este carácter de fundamento microquímico, podemos hacerla cristalizar en el interior de las células, tratando los cortes microtómicos con cualquiera de aquellos líquidos. De este modo se consigue la formación de filamentos ó agujas amarillentas (Belzung), rectilíneas y asociadas de xantina, como manifiesta el grabado adjunto (fig. 167).

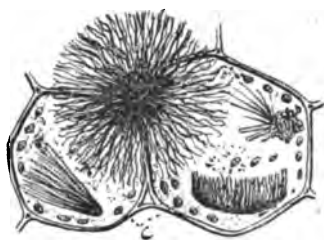


Fig. 167.—Parénquima del tallo de una joven plantita (*Cicer arietinum*) después de macerada en glicerina pura durante algún tiempo; se observan claramente en el interior de sus células cristales amarillentos de xantina bajo la forma de agujas ó de baquetillas cortas, así como en la unión de tres células se han dispuesto las agujas ó filamentos flexuosos de xantina en una especie de pincel extendido. —c, cloroplastos (Belzung).

#### SALES MINERALES

A consecuencia de los cambios osmóticos que constantemente establece la célula en sus relaciones con el medio exterior, el jugo celular absorbe y conserva muchas sustancias minerales en disolución para responder ordenada y cumplidamente, sirviendo de intermediario, al gasto continuo que

el protoplasma sostiene en el proceso metabólico y de edificación celulares.

Entre las materias que el jugo celular mantiene disueltas según los análisis efectuados, indicaremos como más importantes los nitratos, sulfatos, fosfatos, silicatos y cloruros de diferentes bases, siendo de éstas las más frecuentes el potasio, sodio, magnesio, calcio, hierro manganeso, etc.

Algunas sales, sin embargo, que son normalmente insolubles, se hallan también disueltas en el jugo, favorecidas por la acidez de éste: tal acontece con el fosfato de calcio que diversas plantas encierran al estado de malafosfato (peciolo del *Angiopteris erecta*) (véase fig. 132), y con el carbonato cálcico al estado de carbonato ácido ó bicarbonato (hojas del *Mesembrianthemum*, etc.)

Y en muchos casos la abundancia de substancias minerales disueltas es tan excesiva, que saturado el jugo celular de varias de ellas, terminan por precipitarse ya en el interior, bien en la superficie de las células, constituyendo agrupamientos cristalinos muy diversos: esto sucede en el género *Closterium* (algas Desmidiáceas), con el sulfato de cal (véase fig. 135); en los Mixomicetos, con los gránulos cristalinos de carbonato de cal; en algunas palmeras (*Sabal Adamsoni*, *Latania borbonica*), con los nódulos mamelonados de sílice, y otros muchos ejemplos que pudiéramos consignar (véase mineralización, págs. 85, 86 y 87).

Las sales minerales funcionan además, ora como *reservas nutritivas* destinadas tarde ó temprano á ser incorporadas por los protoplasmas de las células meristemáticas ó focos de crecimiento, bien como *substancias digestivas* á la manera de las diastasas. Así ocurre que el fosfato ácido de potasio segregado por las raíces, transforma en solubles las sales insolubles del suelo (fosfato de calcio, etc.), é interviene también en la digestión de los granos de aleurona, del mismo modo que el cloruro de sodio contribuye parcialmente á peptonizar los principios albuminoideos.

Ahora bien: como en el interior de las células unas sales están generalmente en disolución en el jugo (fosfatos, nitratos, etc.), y otras frecuentemente cristalizadas (carbonato y oxalato de cal), vamos á indicar los procedimientos microquímicos empleados para delatarlas, principalmente los fosfatos y

nitratós, por ser de mayor importancia, auxiliándonos de los reactivos precisados por la química.

Se descubren los *fosfatos* porque con la disolución nítrica de molibdato amónico, las células dan un precipitado granuloso ó cristalino de fosfomolibdato amónico, de color amarillo de canario. Estos cristales pequeñísimos que se forman, corresponden al sistema regular. Para no perder detalle en el reconocimiento de los fosfatos, se opera en microquímica vegetal del modo siguiente: practicado el corte en una hoja del *Triticum repens*, por ejemplo, se coloca sobre el porta-objetos con algunas gotas del reactivo, y después se calienta á una temperatura que no exceda de 40°.

Mas si queremos revelar los *nitratos*, bastará tratar los cortes por cualquiera de los procedimientos y reactivos siguientes. Así, por ejemplo, una sección del tallo de la *Parietaria officinalis*, atacado por la solución acuosa de *sulfato de cinconamina*, forma un precipitado cristalino en tablas frecuentemente agrupadas de nitrato de cinconamina. Por el otro procedimiento dejaremos que se deseque el corte reciente sobre el porta-objetos, y añadiendo después el reactivo, que consiste en una disolución de *difenilamina* en ácido sulfúrico concentrado, observaremos que en las células con nitratos se produce una coloración azul intensa. Como esta coloración se difunde con facilidad sobre el corte fresco, he aquí por qué conviene perfectamente desecarlo, según se ha dicho, antes de someterlo á la acción del reactivo.

Poco podemos añadir á lo manifestado anteriormente (páginas 158 á 161) respecto al modo de determinar la presencia del carbonato y oxalato de cal en las células vegetales. Sin embargo, á modo de apéndice indicaremos brevemente el procedimiento que debemos seguir en cada caso.

Para reconocer el *carbonato de cal*, que, como sabemos, es soluble en los ácidos, dando lugar á una efervescencia rapidísima, se deposita en el borde del cubre-objetos de una preparación ya montada, sirvan de ejemplo los cistolitos del *Ficus elastica*, una gota de ácido clorhídrico ó acético, y de este modo desaparecerán los cristales que incrustaban á los cistolitos, y la **porción celulósica fusiforme**, antes encubierta, aparecerá **destacada y libre de esta substancia extraña** (véase pág. 161).

Y si, finalmente, quisiéramos reconocer el oxalato de cal,

matéria que á cada paso se encuentra en el interior de las células de casi todos los tejidos orgánicos vegetales, bastaría recordar que es insoluble en el ácido acético y soluble sin efervescencia en el ácido clorhídrico.

Un fenómeno curioso debemos manifestar respecto al ataque que ante el ácido clorhídrico experimentan los rafides de oxalato de cal incluídos en el mucílago de algunas células, como los áloes (véase fig. 129), *Colocasia* (véase fig. 130), *Philodendron*, etc., y es que al efectuarse la disolución de la periferia al centro de los cristales, subsisten los huecos que éstos ocupaban envueltos por la substancia mucilaginoso no atacada, y que puede evidenciarse perfectamente en el sentido manifestado sin más que teñirla por el azul de metileno.

#### PIGMENTOS VEGETALES

Son todas aquellas materias de composición compleja que tiñen ó comunican color á los plasmitos y al jugo celular.

Todas las substancias colorantes, aun teniendo una existencia transitoria, obedecen sin duda alguna á un fin práctico y funcional, si bien la importancia fisiológica de ellas no sea la misma.

El análisis químico y el estudio de las bandas de absorción, decidieron al tratar de la *clorofila* el papel interesantísimo que le está encomendado en el quimismo vegetal: estos mismos medios pueden utilizarse para averiguar el cometido que á los demás pigmentos colorantes les cumple en la fisiología de la célula, como se dedujo con respecto á la *bacterio-purpurina* (pág. 121).

Tan sólo nos detendremos en el estudio de los pigmentos celulares *citoplásmicos é hidrolásmicos*, según se nos ofrecen en la célula, prescindiendo, en cambio, de todas aquellas materias que por transformaciones químicas llegan á adquirir color y son objeto de la química industrial (1).

(1) Puede servir como ejemplo de éstas algunas materias cromógenas, glucósidos generalmente, que descompuestos por hidrólisis en presencia de los fermentos, originan glucosa, y una substancia que por oxidación adquiere

**Pigmentos citoplásmicos.**—Estos pigmentos pueden estar *localizados ó difusos*, según que tiñan á los corpúsculos figurados (plasmitos), ó se hallen impregnando la masa general del citoplasma. Todos ellos reciben la denominación general de cromatóforos, que tanto se puede referir al pigmento como á la suma de éste y el elemento en que se fija.

a. Entre los *localizados* distingue Strasburger los *cloroplastos*, *cromoplastos* y *amiloplastos*, incluyendo éstos, sin embargo de ser incoloros, por servir también de agentes en la formación de los hidratos de carbono, y principalmente del almidón (1).

**Cloroplastos.**—El pigmento que colorea á estos corpúsculos es el verde, llamado *clorofila*, suma á su vez de las tres substancias pigmentarias clorofila pura, xantofila y una pequeñísima proporción de eritrofila.

Esta coloración puede alterarse de un modo *temporal ó permanente*. Es *temporal*, para Van Tieghem, el color pardo que toma la clorofila pura de las hojas que persisten durante el invierno (coníferas, boj), quedando la xantofila inalterada, y cuya coloración parece reconocer como causa el frío de la estación, puesto que en la primavera y por el calor recupera el color verde. Se considera también como una alteración ó desorganización de la clorofila á la coloración amarilla ó parda que toman las hojas de la mayor parte de nuestros árboles y plantas, como signo precursor de la caída de estos órganos en otoño. Y es *permanente*, en todos aquellos casos en que no sólo la clorofila pura, sino también la xantofila, se transforman en otros pigmentos característicos de los cromoplastos.

**Cromoplastos.**—Son corpúsculos que están teñidos por substancias colorantes distintas de la verde ó asociadas á ésta, enmascarándola.

Esta última particularidad, que distingue á muchas algas, se manifiesta por el carácter de la solubilidad en el agua del pigmento asociado, dejando intacto el verde (véase pág. 138). Entre

color: tal sucede con la *indigotina*, producida en las hojas del *Isatis tinctoria*, que, al separarse de la glucosa, del color blanco que presentaba, pasa al azul del añil del comercio.

(1) Se asegura que en ciertos casos los amiloplastos (raíces de dalia, zanahoria, remolacha) pueden tomar coloración.

éstas tenemos la *ficocianina* (azul) de las algas cianofíceas en general, la *ficofeina* (parda) de las feofíceas, la *ficoxantina* (amarilla) de las diatomáceas, y la *ficoeritrina* (roja) de las florídeas.

Las materias colorantes distintas de la clorofila, son con frecuencia producidas por alteraciones permanentes de ésta, y cuyo color verde desaparece á medida que se constituye el pigmento especial. Las flores y frutos ofrecen numerosos ejemplos en este concepto: cromoplasmitos *amarillos* existen en los pétalos del girasol y ranúnculo; *rojos*, los frutos del pimiento, rosa, etc., teñidos los primeros por la xantofila, y los segundos por la eritrofila.

Es notable que la materia colorante adquiera formas variadas y de contornos más ó menos definidos, á los cuales se aplica el nombre de *cromocristalitos*. Son fusiformes en el cáliz de la capuchina, frutos del tomate y *Lonicera xilosteuum*, de color amarillo ó amarillo anaranjado y rojo respectivamente; en la pulpa del fruto de la calabaza se presentan en tablitas poligonales (véase fig. 109, *j l*), y filamentos arrollados en espiral cuyas vueltas están separadas (véase fig. 109, *k*).

**Amiloplasmitos.**—Aunque estos corpúsculos citoplásmicos son incoloros, como forman almidón en los tejidos internos y órganos subterráneos de las plantas, y es constante el hecho de que los pigmentos se originan á medida que el almidón se reabsorbe en los cromoplasmitos, no es raro que aquéllos tomen coloraciones diversas, por reciprocidad, cuando desaparece el almidón formado y aun el plasmito generador. Tal origen parecen reconocer las tablitas rectangulares ó romboidales rojizas de los tubérculos de la dalia, los pigmentos fusiformes amarillo-rojizos de la raíz de la zanahoria, etc.

*aa.* Entre los *pigmentos difusos* que impregnan el citoplasma general, merecen especial mención la *bacterio-purpurina*, pigmento rojo de algunas algas cianofíceas, que, absorbiendo las radiaciones de refrangibilidad media y las infra-rojas, utiliza esta energía en la asimilación del carbono; y también la mezcla de ficocianina, ficoxantina y clorofila que componen el matiz verde azulado de otras algas cianofíceas (*Oscillarias*, *Nostoc*).

**Pigmentos hdroplásmicos.**—Son pigmentos disueltos en el jugo celular, llamados también hialoplásmicos; en general, las

coloraciones que ofrecen son violetas, azules ó purpúreas; en algunos casos rosadas, y rarísimos amarillos. Están contenidos frecuentemente en las células epidérmicas y alojados en hidropasmitos especiales, como resultado probable de una secreción de sus finas paredes.

El pigmento que produce estas coloraciones parece ser, según Van Tieghem, la *antocianina*, que es azul si el jugo celular es alcalino, y rojo si es ácido (1).

Entre los colores violados, citaremos el de los sépalos del *Delphinium consolida* y pétalos de la violeta; azul el de las corolas de la *Vinca major* y *minor*; y púrpura en las células epidérmicas de las hojas del *Fagus sylvatica*  $\beta$  *sanguinea*. Los pigmentos rojos, vivo y carmín, que los álcalis cambian en azules, existen también al estado de disolución en el fruto de la *Bryonia*. Son frecuentes los pigmentos rosados en los pétalos de la rosa y en la base de los de la capuchina.

Y finalmente, los excepcionales pigmentos amarillos disueltos en el jugo, pueden observarse en los pétalos del *Verbascum*, *Adonis vernalis*, *Cucurbita Pepo*, *Dahlia*, que en cuanto á su composición parecen distintos de la xantofila, porque el ácido sulfúrico no los torna al azul y sí al pardo y rojo.

Los pelos estaminales de la *Tradescantia*, *Verbascum*, *Anagallis*, etc., presentan ejemplos de jugos coloreados.

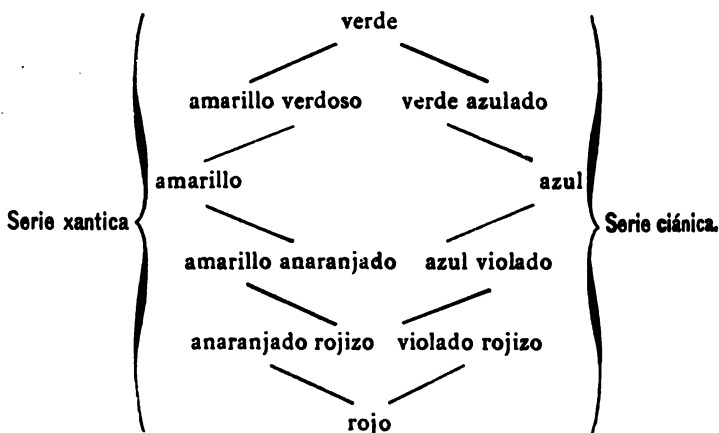
**Matices.**—Los matices de ciertos órganos vegetales, pueden resultar también de la suma de varios colores. Así, el pardo rojizo y aun rojo de las hojas del *Atriplex hortensis*, es debido á la combinación del rojo que tiñe el jugo celular epidérmico y el verde de los cloroplastos del parénquima subyacente. El matiz pardo de algunas hojas (roble) durante el otoño, debe atribuirse á la mezcla de las coloraciones de las membranas y contenidos celulares (Detmer).

Las células de los parénquimas clorofílicos de las hojas de la *Mahonia*, *Photinia*, *Ampelopsis*, etc., se hallan rellenas en el otoño de un líquido rojo, en el cual subsisten cloroplastos.

Resumiendo lo expuesto, se pueden agrupar las coloraciones

(1) Extrayendo el jugo acuoso de las flores de la violeta, se enrojece por los ácidos, y neutralizando con anterioridad al tratarlo con un álcali, da origen á un color violado y hasta verde si hay exceso de reactivo.

indicadas en dos series que parten del amarillo y del azul, por lo que se denominan *xántica* y *ciánica*, estando incluidos en ambas el rojo y el verde.



Aun cuando no es frecuente encontrar colores de las dos series en una misma planta, se citan como excepciones los penamamientos, y también los pelos de la garganta corolina de la *Pinguicula*, que ofrecen el raro carácter de presentar un pigmento amarillo ó xántico en su región apical, y otro violeta ó ciánico en la porción basilar.

**Función de los pigmentos.**—Sólo el pigmento clorofila es bien conocido bajo el punto de vista fisiológico, aún no esclarecido en los demás. En este concepto, los clasifica Belzung provisionalmente en: 1.º, pigmentos *asimiladores*, como la clorofila y la bacterio-purpurina; 2.º, pigmentos *protectores*, como la *antocianina*, de color púrpura, azul ó azul violado de diversas hojas (Haya), flores, frutos y semillas; y la *antocianina* de color rojo, disuelta en el parénquima clorofílico, y principalmente en empalizada de las hojas de algunas plantas durante el invierno (*Ampelopsis*, *Mahonia*, *Photinia*), la cual, absorbiendo radiaciones principalmente caloríficas, contrarresta en la planta la baja temperatura del exterior (1); 3.º, pig-

(1) Este color rojo sirve para transformar las radiaciones luminosas en caloríficas, dando calor á las plantas durante el invierno. (Lázaro, *Actas de la Sociedad Española de Historia Natural*, tomo XV, pág. 22.)



mentos *atractivos*, de insectos y aves, que sirven de instrumentos indirectos á la polinización; y 4.º, pigmentos *indiferentes*, ó sin función determinada al parecer, como ocurre con las materias colorantes de las raíces. las cuales se sospecha sean simples desechos de nutrición.

## CAPITULO IV

### MATERIAS QUE SE FORMAN EN LAS CÉLULAS COMO PRODUCTOS DE SECRECIÓN Y DE EXCRECIÓN

Entre las distintas substancias que pueden considerarse como productos de secreción y excreción, indicaremos como más importantes las *ceras*, *éteres*, *esencias*, *resinas*, *gomo-resinas*, *oleo-resinas* y *bálsamos*.

**Ceras.**—Poco hemos de añadir á lo anteriormente dicho respecto á estos compuestos (véase págs. 84 y 85). Sólo recordaremos que son sólidos, y se diferencian de las grasas porque, saponificados por medio de los álcalis, no producen glicerina como éstas, y la poca que se origina depende sencillamente de alguna que otra substancia grasa que acompaña á las ceras.

Son fusibles á temperaturas poco elevadas, solubles en el éter y en el alcohol caliente. Se encuentran cubriendo la superficie epidérmica ó cuticular de diversas plantas, formando así defensivas cubiertas impermeables que sirven, no sólo para moderar la transpiración, sino muy principalmente para preservar á los órganos vegetales de los efectos perjudiciales de la lluvia y de la escarcha, pues es bien sabido que tanto la humedad de aquélla como la procedente de la licuación de ésta, son causas que, auxiliadas del calor, contribuyen al desarrollo de distintos hongos generadores de infinidad de procesos morbosos. Tal sucede con la enfermedad del garbanzo, conocida desde muy antiguo con el nombre de *rabia*.

M. de Bary distingue en los vegetales cuatro tipos principales de revestimiento ceroso, que se reducen á tres grupos: *granular*, *filamentoso* y *testáceo*.

1.º En el grupo *granular*, consideraremos á su vez los dos distintos tipos admitidos por Bary con las letras *a* y *b*.

*a*. Revestimiento granular *simple*, bien en granitos aislados, bien adherentes formando una capa continua: tal acontece en la *Brassica oleracea*, *Iris pallida*, *Allium Ceba*, *Tropeolum majus*, *Pinus*, etc.

*b*. Revestimiento granular *pruinoso*, fácilmente separable, se observa en los frutos (ciruela, uva) con el nombre de *velo* ó *flor*, y en muchas hojas que ofrecen el aspecto glauco. Esta envoltura cerosa se presenta en pequeños corpúsculos aglomerados bajo dos formas: unas veces el de masillas aisladas y constituidas por elementos bacilares ó finísimas agujas (*Eucalyptus*, Acacia, muchas gramináceas); y otras el de granillos agrupados en varias capas (*Ricinus communis*, *Kleinia ficoides*).

2.º Revestimientos *filamentosos* constituidos por bastoncitos céreos, delgados, alargados y rectos ó arqueados en su parte superior, ó recurvados en forma de bucle (tallos de *Helicornia farinosa*, *Saccharum officinarum*, fruto de la *Benincasa cerifera*, hojas del *Cotyledon orbicularis*, etc.)

En este caso pueden formar mechones aislados (*Coix lacryma*, *Sorghum*).

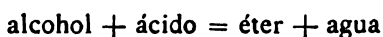
3.º Revestimientos *testáceos*, en capas ó costras céreas, ora constituyendo una película delgada como si fuera una capa de barniz (*Sempervivum*, *Euphorbia Caput Medusæ*, *Thuja occidentalis*); bien en láminas delgadas (*Cereus alatus*, *Opuntia*, *Portulaca oleracea*, *Taxus baccata*); ya en costras más espesas en las cuales se percibe con toda claridad una estructura semejante á la de los estratos (frutos de la *Myrica cerifera* de la America del Norte, tallo del *Panicum turgidum*, *Euphorbia canariensis*). A este grupo corresponden la cera de los tallos de las palmeras ceríferas del Perú, principalmente la *Klops-tockia cerifera*, sinónima del *Ceroxylon andicola*, y la *Copernicia cerifera* del Brasil, cuyas costras céreas, que llegan á 5 milímetros de espesor, son objeto de explotación para los mismos usos que la cera animal.

La cera, como originada por la cutícula, representa un producto de excreción y produce en los vegetales el aspecto *glauco* de las hojas (*Brassica*), tallos y hojas (*Sedum*) y el *pruinoso* de los frutos (ciruela, uva).

**Éteres.**—Entre las múltiples combinaciones que en la retorta química vegetal se operan, una de las que más llama nuestra atención seguramente es la formación de los éteres, pues á ellos es debido, como productos excrementicios y en razón á su volatilidad, la fragancia ó el gran número de perfumes de las plantas (1).

Los éteres, según nos enseña la química, son resultado de la deshidratación de los alcoholes, constituyendo los *anhidroles*, y también, conforme con las ideas de Berthelot, consecuencia de la acción directa de los ácidos sobre los alcoholes, originando los *éteres salinos* con desprendimiento de agua.

Es decir, que según esto



Y como en cualquiera de los dos procedimientos de obtención hay eliminación de agua, resulta que la eterificación parece estar relacionada con la función clorofílica, pues á medida que los éteres vegetales se forman, la deshidratación consiguiente define por completo el fenómeno interesantísimo de la *cloro-vaporización*, ó sea el desprendimiento de vapor de agua en las plantas verdes en cantidad muy superior á la de la transpiración.

Convengamos, sin embargo, en que esta eterificación es *parcial*, porque el agua producida y no totalmente desalojada descompone el éter formado y llega un momento en que la acción deshidratante de aquélla es igual á la fuerza de afinidad de los dos cuerpos reaccionantes, deteniendo la reacción y estableciendo lo que en química se denomina *equilibrio químico*.

De aquí que en todos los vegetales, al lado de los productos formados, haya un exceso de sustancias reaccionantes; ó en otros términos, que en el vegetal estudiado hallemos una mezcla de elementos originados, éter y agua, con los originadores alcohol y ácido.

Por consiguiente, para que la eterificación vegetal sea lo más *total* posible, es necesario, ó añadir cuerpos deshidratantes

(1) Pudimos hablar de ellos antes ó después de las *grasas*, por ser éstas los éteres glicéricos naturales más importantes; pero todas ellas son productos excrementicios, excepto el aceite del pericarpio de las aceitunas y otros.

que absorban el agua formada, ó seguir otro procedimiento más en armonía con la vida de la planta, cual es favorecer la eliminación del vapor de agua en el proceso fisiológico denominado *cloro-vaporización*, suponiendo, claro está, que con dicha eliminación mecánica del agua, se activa la eterificación y de paso la función clorofílica relacionada con aquélla.

Para esclarecer este punto, los Sres. Charabot y Hebert (1) han sometido ciertas plantas á influencias capaces de alterar á la vez los fenómenos químicos y fisiológicos.

Con este fin, y teniendo en cuenta que la llegada del agua por las raíces hasta las hojas, como órganos especialmente clorofilianos, está en relación con los componentes minerales del suelo, han añadido á éste diferentes materias inorgánicas, y han observado cuáles son las que, como resultado de esta adición, disminuyen la proporción de agua de las plantas objeto de ensayo, averiguando al mismo tiempo que con estos medios se produce un efecto análogo al que ocasiona en las plantas radiaciones luminosas muy intensas.

En conclusión: del resultado comparativo han deducido dichos autores que los nitratos son los que más favorecen la pérdida de agua; siguen después los sulfatos, los cloruros, y, por último, el fosfato sódico.

¿Y cuáles son estos éteres? Tan diferentes y distintos son estos cuerpos, ya correspondan á la agrupación de los éteres de los hidrácidos (éteres simples), de los oxácidos (éteres salinos) y de la condensación de los alcoholes (anhidroles), que su estudio corresponde de lleno á las lucubraciones de la química orgánica, y no del naturalista, que no halla vestigio alguno de su morada en el interior de las células, inversamente á lo que sucede con sus análogos por el aroma y llamados aceites esenciales ó esencias.

**Esencias.**— Con este nombre se designan ciertos líquidos, rara vez sólidos (alcanfor *Laurus Camphora*), que son volátiles, de aspecto oleoso, determinan sobre el papel manchas que hace desaparecer el calor, muy solubles en alcohol é inflamables, y á cuya presencia se deben, lo mismo que á los éteres, los olores agradables (rosa, azahar) y desagradables (*Stapelia*, *Chenopodium vulvaria*) de las plantas.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 19 Enero 1903.

Químicamente representan los aceites esenciales ó esencias, mezclas en proporciones variables, de hidrocarburos terpénicos ó carburos de hidrógeno próximos á la fórmula  $C_{10}H_{16}$ , y de productos ternarios ó derivados terpénicos, oxigenados diversos según las esencias, tales como alcoholes terpénicos y sus éteres, aldehidos, cetonas, fenoles, etc. Excepcionalmente de un solo carburo de hidrógeno, se puede citar la esencia de limón.

Hay esencias formadas de *C* y *H* (esencia de limón, trementina, enebro); de *C H* y *O* (esencia de anís, de menta, de canela (*Cinnamomum zeylanicum*), de clavo extraída de las flores del *Caryophyllus aromaticus*, y de almendras amargas; de *C H* y *S*, como el sulfuro de alilo (esencia de ajos) y sulfuro-nitrogenadas ó constituídas de *C H N* y *S* (esencia de mostaza).

Como polimeros de la esencia de trementina citaremos, entre otros, dos cuerpos en extremo interesantes: el caucho ó caoutchouc extraído principalmente del jugo laticífero del *Ficus elastica* y *Siphonia elastica*, y la gutapercha, procedente del jugo del árbol de la Malasia llamado *Isonandra gutta*.

Estos cuerpos se hallan en el latex de algunas familias vegetales, Moráceas, Artocarpáceas, Euforbiáceas, Sapotáceas. Se obtienen separando las pequeñas esferillas sólidas que en suspensión sobrenadan en el citoplasma acuoso de dichos jugos blanquecinos.

Son las esencias generalmente neutras, excepto la de menta y orégano, que tienen reacción ácida.

Se disuelven en el alcohol, éter, sulfuro de carbono, etc. El yodo actúa violentamente sobre ellas, pudiendo dar lugar á una explosión. De la misma manera que los aceites grasos, se colorean de rojo por la tintura de Alkanna, si bien se distinguen de éstos por su solubilidad en alcohol frío (1).

Todas las esencias son productos de excreción y aparecen generalmente en la célula bajo la forma de gotas de aspecto oleaginoso (de aquí el nombre de aceites esenciales), que fácilmente se reconocen al microscopio por su gran tamaño y la intensa refringencia de su contenido. En la mayoría de los

(1) No se olvidará que el aceite de ricino es la única grasa soluble en el alcohol frío (véase pág. 156).

casos, el alcohol frío y la tintura de Alkanna son los medios suficientes para reconocer las esencias.

El órgano secretor y excretor está constituido, bien por una sola célula (laurel, valeriana), ó por un grupo de células formando una bolsa excretora (hojas de la ruda y del naranjo). A veces las esencias se mezclan con productos resinosos en los canales secretores (oleo-resina del pino), y en otros casos subsisten indefinidamente dentro de las células donde toman origen, como en los pelos secretores uni ó pluricelulares y células epidérmicas no piliformes de las Labiadas (esencia de menta y de tomillo), ó en los pétalos florales (esencia de rosa y de geranio).

Entre las familias vegetales en que más abundante es la producción de aceites esenciales, citaremos las Labiadas (menta, tomillo, salvia, espliego); Umbelíferas (anís, cominos, angélica); Coníferas (pino, enebro); Auranciáceas (limón, naranjo, etc.)

No siempre los aceites esenciales se producen directamente en las células, pues muchas veces aparecen como resultado de la combinación de dos principios (glucósido y fermento, por ejemplo) localizados en células distintas, y cuando los tejidos son triturados en presencia del agua; tal sucede con la de almendras amargas (*Amigdalus, Prunus*), contenida potencialmente en la semilla, y con la esencia sulfo-nitrogenada de las Crucíferas (mostaza) indicadas anteriormente al hablar de las diastasas (véase págs. 206 y 207).

Se atribuye la producción de las esencias en unos casos á la descomposición de la clorofila en el proceso de desenvolvimiento de la flor (pétalos de rosa), pues es general que las flores con pétalos verdes no tengan perfumes; y en otros, á una transformación de las membranas celulares del parénquima de las hojas (ruda) y de los pericarpios (naranjo), que previamente hinchadas terminan por la reabsorción completa de las mismas, dejando el aceite esencial depositado en los huecos, meatos ó lagunas originadas por la destrucción de aquéllas.

La distinción microquímica de las grasas y aceites esenciales, puede realizarse por el procedimiento empleado por M. E. Mesnard.

Consiste en disponer concéntricamente sobre un porta-objetos, y adheridos á él con sindeticón, dos anillos de vidrio, de los

que el interno tiene menor altura: quedan así dos espacios, uno central determinado por este último, que cierra un cubre-objetos redondo y de igual diámetro que él, y otro anular comprendido entre los dos anillos, en el que se vierte el reactivo. Sobre el cubre-objetos se coloca el corte en una gota de *glicerina pura muy azucarada*, y sobre ella otro cubre-objetos circular de las dimensiones del anillo exterior.

El reactivo que se emplea es el *ácido clorhídrico puro*, que, como sabemos, emite abundantes vapores, de los que la glicerina azucarada se apodera fácilmente por su avidez para el agua, determinando al mismo tiempo la hidratación completa de los cortes que contiene. Al cabo de algunos instantes aparecen los aceites esenciales en forma de gotas transparentes de color amarillo de oro, carácter que nunca tiene lugar en los aceites grasos.

La acción prolongada del reactivo pudiera transformar las gotas de aceite esencial en productos difusibles que determinarían su desaparición.

**Resinas.**— Son productos de la oxidación de las esencias, efectuada generalmente fuera de la planta, si bien en algunos casos, merced al oxígeno atmosférico que por ella circula, determina oxidaciones parciales. En este caso, la resina, acompañada de la esencia no transformada, constituye la mezcla de las dos, llamada oleo-resina (pino).

Las resinas se funden á temperaturas poco elevadas: unas son enteramente solubles en el alcohol, como la *sandaraca* (*Thuja articulata*), *colofonia* (*Pinus*, *Abies*, *Larix*); otras se disuelven en parte, como el *mastic* (*Pistacia lentiscus*); y finalmente, las hay que son completamente insolubles, como el *copal* (*Hymenea*, de la familia de las *Cesalpíneas*).

Hay resinas que son segregadas por la planta al estado casi puro, como el *mastic* y el *copal*; así como otras se hallan mezcladas á una gran proporción de esencia (coníferas). Unas son exudadas naturalmente por los tejidos que las producen (*mastic*), y otras se derraman naturalmente ó á consecuencia de incisiones practicadas en los tejidos que las engendran (pino).

Las resinas son insolubles en el agua, y solubles en el alcohol, éter, etc.

Las células llenas de resina ó de aceites esenciales son frecuentes en los rizomas de diversas plantas (*Acorus Calamus*,

*Zingiber officinalis*), en la corteza (*Cinnamomum*), en las hojas (*Laurus nobilis*), en la espermodermis de la semilla (*Illicium anisatum*) y en la semilla en general (*Piper nigrum*). Las paredes de todas estas células están generalmente suberizadas.

Todas ellas, con la tintura de la raíz de Alkanna, se colorean en rosa, y con el violeta de Hanstein en azul. La solución acuosa de acetato de cobre tiñe á las resinas de verde esmeralda. Esta coloración tarda en revelarse, por cuya razón deben los cortes estar por lo menos una hora dentro del reactivo, y si éstos fueran muy espesos, la inmersión en el acetato de cobre será de mayor duración.

El succino ó ámbar amarillo es una resina que se halla en los lignitos de los pinos fósiles (*Pinus succinifer*), y que, por tener ácido succínico, arde, produciendo un olor agradable.

**Oleo-resinas.**—Resinificándose parte de las esencias en el interior de los vegetales, es lógico se mezclen las esencias y las resinas, dando lugar á las oleo-resinas. Sirva de ejemplo el producto resinífero de los Pinos, Abetos y Alerces, que por destilación seca da la *esencia de trementina* ó aguarrás, y el producto sólido ó resinoso llamado *colofonia*.

**Gomo-resinas.**—Son materias al estado de emulsión constituidas por mezclas de gomas y resinas que se producen en los tejidos secretores de varias plantas. Entre ellas tenemos el asafétida, goma guta, goma amoniaco, mirra é incienso, casi todas usadas en medicina.

Tanto éstas, como aquéllas y las resinas, se obtienen de las plantas que las producen, haciendo incisiones en los tallos de los árboles, hasta llegar á los canales secretores, y el jugo que de ellos mana se recoge en canaloncitos generalmente de hoja de lata que se fijan en el árbol debajo de la herida, para que por ellos desagüe el jugo en vasijas ó recipientes dispuestos al efecto.

**Balsamos.**—Las resinas mezcladas con ciertos ácidos orgánicos, como el benzóico (*benjui*) y cinámico (bálsamo del Perú), forman los bálsamos.

Entre ellos tenemos el *benjui* (*Styrax benzoin*, de Sumatra y Java), *estoraque* (*Styrax officinale*, *Liquidambar orientale*) y *bálsamo de Tolú* (*Miroxylon toluiferum*).

Finalmente, es muy raro hallar resinas puras en los vegetales; casi todas se hallan asociadas á esencias (oleo-resinas), go-



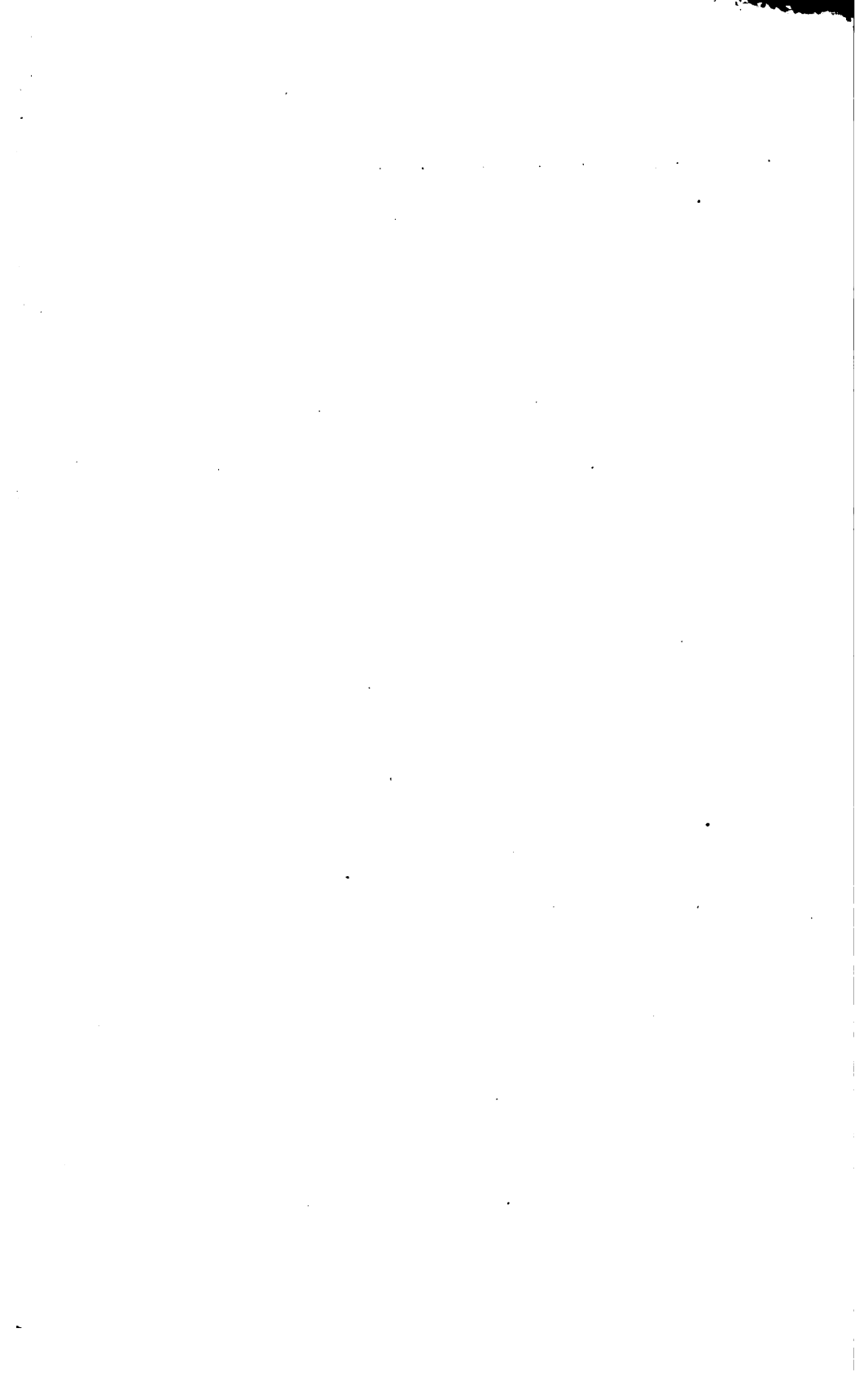
mas (gomo-resinas) ó á las dos sustancias á la vez (gómoo-oleo-resinas).

De aquí que todos estos cuerpos tengan las propiedades y presenten, por consiguiente, las reacciones respectivas á sus componentes.

Así, por ejemplo, una gomo-resina puede perfectamente caracterizarse por su solubilidad parcial en el agua merced á la goma y la solubilidad en el alcohol correspondiente á la resina.

*Advertencia.*—Antes de terminar el presente capítulo, es deber nuestro manifestar que de las múltiples sustancias que se forman en las células, sólo nos hemos ocupado de aquellos productos conceptuados por los botánicos de excepcional importancia en los procesos fisiológicos, excluyendo la enumeración de otros que, elaborados de un modo análogo, entran de lleno, atendiendo á su composición y aplicaciones, en el campo de la química orgánica é industrial respectivamente.

De entre las muchísimas familias vegetales que pudiéramos indicar como generadoras de productos útiles al hombre, referiremos, á guisa de ejemplo, los procedentes de las Euforbiáceas. En efecto: de ellas se obtiene el caoutchouc, extraído del latex de la *Siphonia elastica* y de otras especies de la América central; la gomo-resina de la *Euphorbia resinifera*, y la laca del *Aleurites laccifera*; el latex venenoso del *Hippomane Mancenilla* (manzanillo de Cuba), *Hura crepitans*, etc., empleado para emponzoñar las flechas; el tornasol preparado con el jugo extraído de la *Chrozophora tinctoria*; la tapioca procedente del rizoma de las plantas *Manihot utilissima* y *M. Aipi*; el aceite purgante del albumen de las semillas de *Euphorbia Lathyris*, *Ricinus communis*, *Croton Tiglium*, etc.; la manteca de la semilla de *Stillingia sebifera*; las maderas de construcción (diferentes especies de *Excæcaria*, *Hippomane*, etc.)



## SECCION CUARTA

### NÚCLEO

#### CAPÍTULO ÚNICO

POSICIÓN, FORMA, DIMENSIÓN, MOVIMIENTOS, ESTRUCTURA:  
PROPIEDADES QUÍMICAS Y FISIOLÓGICAS DEL NÚCLEO—ENÉRGIDAS:  
ORIGEN Y AUSENCIA DEL NÚCLEO

Después de los incomparables trabajos realizados por Carnoy (1) con el auxilio del material científico aportado por sus antecesores citólogos, y de las frecuentes y pacienzudas observaciones realizadas en el campo microscópico por posteriores sabios modernos al amparo de objetivos de gran poder resolutorio, se ha venido á afirmar en estos últimos años que el núcleo goza de una estructura comparable á la de la célula en que anida; es foco de un funcionamiento peculiar, originando la proliferación y reproducción celulares, y es, finalmente, inseparable é imprescindible acompañante del citoplasma en todos los fenómenos nutritivos y de crecimiento celulares.

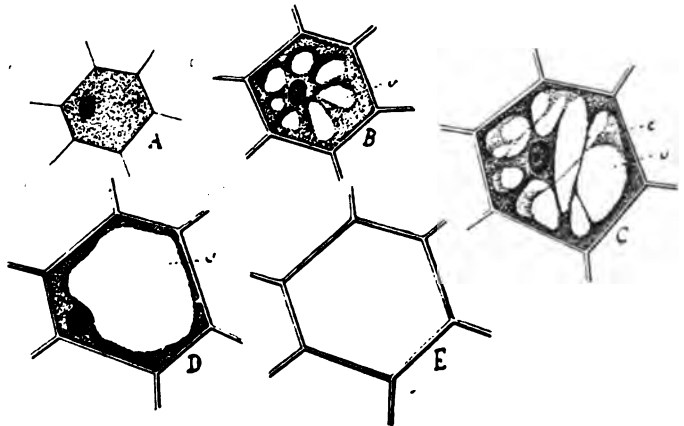
El núcleo, según esto, resulta ser tan esencial como el citoplasma en la vida de la célula, y puede caracterizarse por sus dos conceptos *morfológico* y *fisiológico*.

Morfológicamente, es el núcleo un cuerpo intracelular de forma y tamaño variables, refringencia superior al citoplasma, estructura comparable á la célula donde se halla, y constituido principalmente por el sorprendente hilo ó filamento de *nucleína*, fácilmente destacado microquímicamente con reactivos apropiados.

(1) J. B. Carnoy, *La Biologie cellulaire*, fascículo 1.<sup>o</sup>: París, 1884, páginas 170, 171, 172 y 173.

Fisiológicamente, es considerado el núcleo como un elemento especial y *sui generis* que auxilia al citoplasma en la nutrición, interviene en el crecimiento y es el *fac totum* indispensable á la proliferación y multiplicación celulares.

**Posición.**—Como consecuencia del crecimiento de la célula y de la formación progresiva de las vacuolas en el jugo celular (indicada en las págs. 163 y 164), puede ser la posición del núcleo *central, intercalar y parietal*. Es *central*, siempre que el núcleo envuelto por el citoplasma que rellena la cavidad celular, ocupe próximamente el centro de la célula (fig. 168, A).



Figs. 168 á 172.—A, célula joven llena de protoplasma con el núcleo central.—B y C, células con núcleo intercalar, en las que se distinguen las vacuolas *v* y los cordones protoplásmicos *c*.—D, célula adulta con núcleo parietal y la gran vacuola *v*.

Esta posición es característica de la primera fase del desarrollo de la célula. Es *intercalar*, en los casos en que, envuelto por el citoplasma el núcleo, se halla ligado éste por cordones ó filetes citoplásmicos radiantes á la capa citoplásmica parietal, produciendo el efecto de una araña en su tela, como dice muy oportunamente Van Thiegem (fig. 168, B y C). Y, por último, se dice que es *parietal*, todas las veces que el núcleo, sin dejar de estar anidado en el espesor del citoplasma, se acumula éste en la pared de la célula, arrastrando consigo á aquél (fig. 168, D). En este caso, una gran vacuola de jugo celular rellena casi toda la cavidad celular.

Pueden observarse las diversas posiciones del núcleo en las células uniseriadas de los pelos estaminales de la *Tradescantia virginica*, y en los calicinales de la *Althæa rosea*. Dichas células están colocadas por orden sucesivo de vitalidad, desde la más joven y de reciente formación, que ocupa el ápice de los pelos antedichos, y cuyos núcleos tienen la posición central, hasta las más adultas colocadas en la base y en las que los núcleos respectivos son parietales.

**Forma.**—El núcleo está limitado por superficies curvas. La forma original y típica es la esférica; pero puede ser también ovoidea, lenticular, apiculada y ramificada.

En las células jóvenes embrionarias y meristemáticas, el núcleo afecta casi siempre la forma de una esfera más ó menos perfecta; sin embargo, con la edad esta configuración cambia. Así acontece que, durante la diferenciación de los tejidos, un gran número de núcleos adquieren la forma elipsoidal (fibras, vasos), y otros el contorno apicular (*Sparmannia africana*) (fig. 173).

Excepcionales son los núcleos ramificados en las células vegetales. Carnoy los ha observado únicamente en las células embrionarias y células antípodas del saco embrionario de la *Zostera marina* y *Corydallis solida*.

Y por último, la forma del núcleo tiende á degradarse más ó menos profundamente en una misma célula en relación con su edad. Así, por ejemplo, en las células adultas, los núcleos esféricos ó elípticos que poseían en su juventud, se hallan transformados en corpúsculos abollados, estrangulados, con protuberancias irregulares, adelgazados en un extremo ó acuminados en los dos polos. Este fenómeno, frecuentísimo en las células cuyos núcleos se dividen, dando lugar á las células multinucleadas y tardías de Carnoy, puede ser observado en

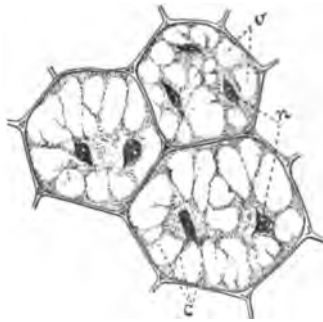


Fig. 173.—Células parenquimatosas del peciolo de la *Sparmannia africana*.—*n*, núcleos múltiples de forma irregular y acuminados; *c*, cordones protoplásmicos; *v*, vacuolas de jugo celular.

los tejidos parenquimatosos (*Sparmannia*) (fig. 173) y en las Caráceas (fig. 174).

**Dimensión.**—El volumen del núcleo se reduce insensiblemente á medida que prospera la edad ó el crecimiento de la célula, variando además su dimensión con la naturaleza de los seres, de los tejidos, y del trabajo funcional que las células desempeñan.

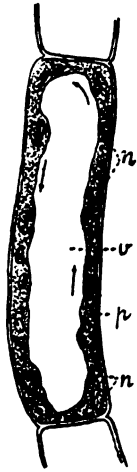


Fig. 174. —Célula de un ramo adulto de *Chara fetida*. —n, núcleos múltiples de formas redondeadas ó angulosas; v, gran vacuola de jugo celular; p, protoplasma: las flechas indican la dirección del movimiento protoplásmico.

Los vegetales monocotiledóneos son, entre todas las plantas, los que poseen en sus células núcleos más voluminosos (liliáceas, amarilidáceas, asparagináceas, orquidáceas, *Tradescantia*); por el contrario, las Criptógamas vasculares, excepción hecha de algunas algas diatomáceas y desmidiáceas, tienen núcleos diminutos, llegando su pequeñez á tal extremo, que, como en ciertos hongos, se hace en ellas preciso el examen microquímico para delatarlos.

Una rápida ojeada sobre los seres organizados, enseña que las Dicotiledóneas, como los Vertebrados, ocupan, en lo que respecta al volumen nuclear de sus células, el medio de una serie cuyos extremos, de núcleos grandes y pequeños, corresponden respectivamente á las Monocotiledóneas y Criptógamas.

En general, la dimensión mayor del núcleo se halla en razón directa de la actividad de la célula ó del tejido en que ésta tome parte: por eso, las células secretoras, lo mismo que los elementos concurrentes á la reproducción sexual llamados *gametos*, tienen siempre núcleos voluminosos. Este hecho se repite en las células de los órganos de reproducción agama (diodangios de las Criptógamas vasculares), y también en los órganos reproductores de las Fanerógamas, microsporangios (antera) y macrosporangios (nuececilla).

Por esta razón, las investigaciones realizadas acerca del núcleo se han fijado principalmente en las células madres de los

esporas. de los granos de polen (*Lilium Martagon*, *Iris*, *Hemerocallis*, etc.), del saco embrionario y sus producciones, y del endopermo en particular (*Paris quadrifolia* de 30  $\mu$ ), como objetos más adecuados y preferentes de estudio.

**Movimientos.**—En el núcleo se observan movimientos de traslación *pasivos* y *activos*. Los primeros son dependientes del citoplasma, pues cuando éste es parietal arrastra al núcleo en su movimiento de rotación (*Elodea*, *Vallisneria*, etc.) Los segundos, ora lentos, ya rápidos y con intermitencias, se perciben en muchas células cuyos núcleos ocupan la posición central, y consisten en movimientos oscilatorios cuya trayectoria es un diámetro celular.

Estos movimientos, repetidos de un extremo al otro de la pared celular y activados con un *optimum* de temperatura, variable según las especies, son análogos á los amiboideos, si bien producidos en el interior de la célula.

**Estructura.**—Observado con débiles aumentos, aparece el núcleo en un principio con el aspecto de un cuerpo homogéneo transparente y con una refringencia y consistencia igual á la masa del citoplasma envolvente, de la que pronto se distingue, así como de otros elementos celulares anidados en ella (plasmitos), por su mayor tamaño y refringencia en general.

Mas para distinguir en sus menores detalles la estructura de este esencialísimo elemento celular, se hace preciso, no sólo del auxilio de objetivos apocromáticos de gran apertura numérica, sino además elegir preferentemente los núcleos voluminosos que se hallan en las plantas Monocotiledóneas indicadas anteriormente.

En estas condiciones, se perciben en el núcleo las partes que vamos á indicar y que son homólogas á las conocidas en la célula vegetal. Estas son:

1.<sup>a</sup> **Membrana nuclear:** capa limitante externa no celulósica, que separa al núcleo del citoplasma, de composición albuminoidea análoga á la del retículo, á que Zacharías (1) ha dado el nombre de *anfipirenina*.

2.<sup>a</sup> **Carioplasma:** protoplasma nuclear, análogo en compo-

(1) E. Zacharías, *Ueber die chemische Beschaffenheit des Zellkerns. Bot. Z.it.*, 1881.

sición y estructura al citoplasma celular. Se halla formado de dos partes, *retículo* y *enquilema*.

El *retículo* es la porción filar y reticulada del carioplasma. Se aproxima por sus caracteres, lo mismo que la membrana nuclear, al citoplasma celular, y está formado de una substancia semejante, si no idéntica, á la *plastina* de Reinke. Esta substancia es insoluble en el agua, alcohol, éter, en el cloruro de sodio al 10 por 100 y en el ácido clorhídrico diluido al 1 ó 3 por 1.000, y difícilmente atacable por las bases y ácidos fuertes, así como por la pepsina y jugo digestivo artificial. Sin embargo, á pesar de la mayor resistencia que ofrecen los núcleos adultos sobre los jóvenes, con el tiempo dicha substancia desaparece bajo la acción de los reactivos antedichos, muy especialmente del jugo gástrico y ácido clorhídrico concentrado.

Esta porción del núcleo es interesante por contribuir, como se indicará más adelante, á la formación periférica del huso acromático carioquinético.

El *enquilema* es la parte más acuosa y albuminoidea que se halla entre las mallas limitadas por la red del carioplasma. Presenta los mismos caracteres que hubimos de señalar al citoplasma, y, por tanto, desaparece fácilmente mediante la digestión artificial y el cloruro de sodio al 10 por 100.

Del seno de este enquilema carioplásmico nace ó surge el *jugo nuclear*, el que morfológicamente y fisiológicamente puede referirse al jugo celular que llena las vacuolas del citoplasma.

El carioplasma, lo mismo que el citoplasma, encierra en su seno diversas substancias. Las más frecuentes son *vacuolas* de jugo nuclear muy abundantes en los pelos vegetales, según Weiss (1); *esferillas de almidón* observadas por Strasburger (2) en la *Tradescantia*, y según Frommann (3) en el *Cereus speciosus*; se ha señalado también la presencia de la *clorofila* por Weiss (4), y comprobada su existencia por Carnoy (5) en las hojas jóvenes del bulbo de la cebolla y en las en-

(1) Weiss, *Allgemeine Botanik*, tomo I, pág. 100.

(2) Strasburger, *Sitzungsb. d. Jen. Gesellsch.*, etc., 1879.

(3) Frommann, *Beob. üb. Struct. u. Entw. d. Protopl. d. Pflanzmelle*: Jena, 1880, tab. I, figs. 6, 7 y 8.

(4) Weiss, obra citada.

(5) Carnoy, *Le Biologie cellulaire*, pág. 247.



vueltas florales de la *Nigella damascena*; y finalmente, aparecen en los núcleos fragmentos plasmáticos que han recibido el nombre de *nucleolos plásmicos*.

Además, la analogía de constitución entre el carioplasma y el citoplasma induce á creer que aquél procede de éste. En efecto: cuando estudiemos las distintas fases carioquinéticas que el núcleo experimenta para dar lugar á su división, observaremos que al divorciarse los fragmentos nucleínicos á los dos polos, los microsomas ó granu- laciones citoplásmicas, confundidos con las carioplásmicas, se acumulan en aquéllos, atraídas por las esferas directrices, constituyendo así las porciones plásmicas de los nuevos núcleos. Los elementos del plasma del *núcleo madre* se distribuyen por igual, según Carnoy, en las porciones extremas del huso, con el fin de consagrarse única- mente á la constitución del retículo carioplásmico de los núcleos hijos, y los demás elementos se forman á expensas del citoplasma:

3.<sup>a</sup> **Filamento nuclear.**—Esta es la parte más manifiesta y que primero se destaca ó revela en la observación del núcleo. Se halla formada por un hilo continuo finamente estriado, arrollado y apelotonado en forma de ovillo (fig. 175), y constituido principalmente por *nucleína*, substancia fos- forada é inatacable por el ju- go gástrico, como más adelan- te se verá.

Como consecuencia de la edad, se altera y degrada lo mismo que el citoplasma, y son las modificaciones que su- fre tan profundas, que no sólo termina por romperse en frag- mentos más ó menos angulo- sos ó en esferillas, de aquí el nombre de células multinu- cleadas tardías, como aconte- ce en la *Chara fatida* (véase fig. 174), sino que en la mayo- ría de los casos llega á disolverse completamente y desapa- recer.

α. **Posición del filamento nuclear.**—Aun cuando esta porción del núcleo no ocupa posición fija en el seno del carioplasma,

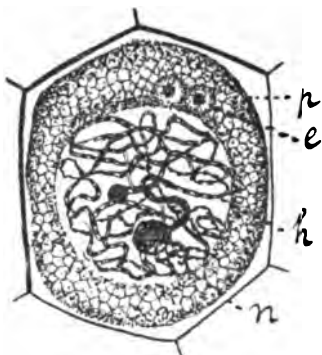


Fig. 175.—Célula madre de polen del *Lilium Martagon*.—*p*, protoplasma; *c*, esferas directrices; *b*, hilo ó filamento nuclear; *n*, nucleolos.

se localiza frecuentemente en el centro del núcleo, dando lugar al llamado por Carnoy *nucleolo-núcleo*.

**αα. Estructura del filamento nuclear.**—En él se distinguen, con el auxilio de objetivos de inmersión de gran apertura numérica, una pared ó *estuche* y un *contenido*.

El *estuche* del hilo nuclear está formado de una membrana delgada y resistente y de composición análoga á la del retículo ó sea á la plasmatina de Reinke.

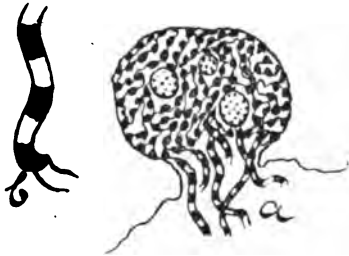


Fig. 176.—Núcleo del endospermo del *Paris quadrifolia*.—*a*, el filamento nuclear aparece formado por circunvoluciones independientes en la porción inferior rota por la aguja del operador; bajo la acción del verde de metilo el estuche nucleínico se descompone en discos alternativamente coloreados é incoloros, que en la figura son negros y blancos respectivamente; en medio del núcleo se perciben tres nucleolos verdaderos ó plásmicos.—*b*, fragmentos del filamento visto con mayor aumento; los discos negros de nucleína no presentan traza alguna de estructura granular; el estuche ha sido destacado en los extremos del filamento por medio del violeta de Paris.

El *contenido* constituido esencialmente por *nucleína*, y á la que los histólogos denominan *cromatina*, en razón á su avidez para ciertos reactivos colorantes básicos, como el verde de metilo, fuchsina, azul de metileno, violeta de genciana y demás anilinas, se halla distribuída generalmente en forma de *granulaciones* ó de discos *macizos* ó *huecos*. Estos discos *macizos* ó *huecos* están separados con regular alternancia por otros *incoloros* esencialmente formados por plasma amorfo hialino, llamado *linina*, de λινον, ligadura (fig. 176), que adquiere en algunos ca-

sos una tinta roja uniforme con el reactivo de Millon.

Mas no termina aquí esta arquitectura singularísima del hilo nuclear, pues si fijamos un poco más nuestra atención, observaremos que los discos cromáticos macizos ó huecos, ora delgados, ya gruesos (*Paris quadrifolia* y otras Monocotiledóneas), no están separados unos de otros sin lazo alguno de continuidad; antes por el contrario, parecen estar formados por un *hilito en espiral* sumamente fino, tenue y continuo, cuyas vueltas muy contiguas hacen el efecto de una masa com-

pacta, que sigue su curso en espiral muy separada é imperceptible á través de los discos hialinos, para enlazarse de este modo con el siguiente disco cromático.

Esta estructura tan notabilísima del filamento nuclear fué dada á conocer por primera vez en los núcleos de las células polínicas de la *Tradescantia* por Baranetzcki (1), y hoy es fácil de manifestar tanto en los núcleos de las células animales (fig. 177) como vegetales (parénquima foliar del *Allium Cepa*) (fig. 178).

Según Carnoy, esta distribución de la nucleína en el interior del filamento nuclear no es constante. Así acontece, que en algunos insectos se dispone la cromatina tapizando por igual el estuche nuclear, formando una especie de capa ó manto

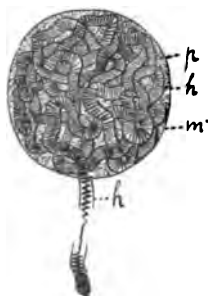


Fig. 177.—Núcleo tipo de un tubo de Malpighi correspondiente á una ninfa de bimenóptero.—*m*, membrana; *p*, carioplasma; *h*, filamento nuclear, cuya porción inferior se desarrolla en espiral uniformemente coloreada por el verde de metilo.

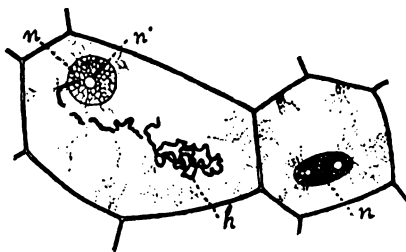


Fig. 178.—Dos células de parénquima foliar del *Allium Cepa*—En la de la derecha se percibe un núcleo *n*, con su hilo nuclear y dos nucleolos. En la de la izquierda se distingue un núcleo *n* con el retículo plásmico y el nucleolo *n'*; de dicho núcleo la navaja ha separado, roto y desenrollado el hilo ó filamento nucleínico *h*.

(fig. 179, *a*, *b*); en otros adquiere la nucleína la configuración anular, ó sea el contorno de rodetes discoideos huecos más ó menos simétricamente colocados (fig. 179, *c*, *d*), y, por último, puede ocurrir, como sucede en las hileras de las larvas de los *nemoceros*, que se presente la cromatina en forma de granillos refringentes y yustapuestos, los que envolviendo en número variable el canal medular del estuche, simulan un

(1) Baranetzcki, *Die Kerntheilung*, etc. *Bot. Zeit.*, 1880, pág. 241.

conjunto, visto de perfil, con el aspecto estriado que revela en el dibujo (fig. 180).

**Opiniones diversas respecto á la estructura del núcleo.**—Como quiera que los discos cromáticos ó nucleínicos, por su avidez á las materias colorantes, son los elementos adecuados para delatar la presencia del núcleo allí donde se encuentre, y como, por otra parte, no están siempre dispuestos en el hilo ó filamento nuclear con el orden y simetría que acabamos de manifestar, indicaremos á grandes rasgos los diversos criterios

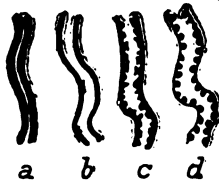


Fig. 179.—Cortes longitudinales de diferentes filamentos ó estuches nucleínicos.—*a*, de la *cocinilla de humedad*: la nucleína forma una capa que tapiza el interior del filamento, dejando el canal central apenas perceptible.—*b*, especies del género *Bombus*: en estos himenópteros la capa nucleínica del filamento es más delgada y el canal central apenas perceptible.—*c* y *d*, de órganos sexuales de muscudos en fase larvaria, que viven parásitos sobre el gusano del *Liparis dispar*: la nucleína dentro del estuche forma discos huecos ó anillos separados de otras porciones hialinas. (Carnoy.)

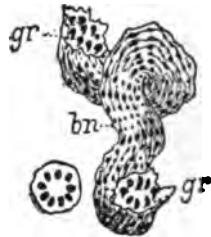


Fig. 180.—Corte microtómico del estuche nucleínico estriado correspondiente á las células de la glándula hilera de una larva de diptero *nemocero*, tratada en fresco por el verde de metilo.—*bn*, estuche arrollado; *gr*, dos secciones transversas practicadas por la navaja. Se observa en ellas un círculo de gránulos nucleínicos refringentes rodeando el orificio central. Los espacios interpuestos en blanco representan la masa plásmica, en la cual los gránulos están envueltos. Dichos gránulos nucleínicos señalan en las estrias, vistas de perfil, el aspecto punteado respectivo á la granulación nucleínica.

que sostienen los citólogos respecto á la distribución de aquéllos, revelando así las distintas estructuras que al parecer se perciben en los diferentes núcleos.

Por detallado que sea el estudio que hagamos en el núcleo, siempre encontraremos, en opinión de Carnoy, que la nucleína ó cromatina se presenta en su forma primitiva y típica con el aspecto *filamentoso* y *apelotonado*, del cual derivan después, según los casos, las formas *reticulada*, *globulosa*, el estado

amorfo, y, por fin, la *disolución* ó *desaparición* permanente ó temporal (1).

Totalmente opuesto es el modo de pensar de Branca (2) cuando manifiesta que la cromatina se halla en un principio al estado de disolución, si bien lo general es que se presente bajo la forma de granulaciones. Estas granulaciones, que son irregulares en los núcleos en reposo, pueden estar colocadas, bien en la superficie, ora en el interior de los filamentos de linina, que, soldados entre sí de diversas maneras, forman una delicada red. Por último, conceptúan éste y otros histólogos modernos, como raras y excepcionales, no sólo la disposición radiada de los bastoncitos cromáticos, sino también el aspecto de cordón ó filamento arrollado, que Carnoy considera como fundamental, primitiva y típica.

Singular es el criterio de Rabl (3) respecto á esta cuestión. Considera este citólogo á los filamentos de linina llevando consigo á la cromatina, divididos en segmentos que tienen la forma de U y orientados de modo que la parte cerrada mira hacia un espacio claro. Estos filamentos, llamados primarios, emiten lateralmente otros secundarios muy delgados y ramificados que unan entre sí las asas de los primeros. Para darnos cuenta clara de esta estructura, puede verse el esquema representado en la fig. 181.

Y por fin, menos frecuente, según Krasser, se encuentra la cromatina difundida en la masa citoplásmica. Este hecho, que Carnoy considera como un fenómeno de degradación, es, por el contrario, para los citólogos modernos de predicción muy

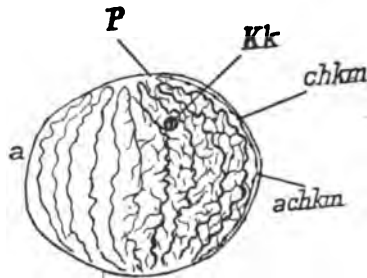


Fig 181.—Diseño ó esquema de la disposición del filamento de linina según Rabl.—P, campo polar; *chkm*, parte cromática ó nucleínica; *achkm*, porción acromática.

- (1) Carnoy, *La Biologie cellulaire*, fascículo 1.º: Lierre, 1884, pág. 228.
- (2) Branca, *Histologie*, 1906.
- (3) M. Rabl, *Ueber Zelltheilung. In Morphol.*, Jahrb. 1884.

significativa, pues hace sospechar que la nucleína ha existido primitivamente en la materia protoplásmica al estado de difusión, y por una diferenciación progresiva ha originado por concentración el núcleo.

En suma: la nucleína, que adopta formas llamadas *chromosomas* y disposiciones variables y siempre en relación con el filamento de linina, se la ve bajo la forma de *granulaciones* incluídas ó adheridas á dicho filamento, y distribuídas en éste, unas veces con ó sin uniformidad, otras en zonas paralelas de discos cromáticos y acromáticos que dan al filamento el aspecto estriado, bien formando masas esféricas más ó menos voluminosas dentro del núcleo y confundidas con los nucleolos.

4.<sup>a</sup> **Nucleolos.**— Los citólogos anteriores y posteriores á Carnoy, confunden con este nombre las cosas más diversas. Para unos, son los nucleolos, dependencias del filamento nucleínico, ó sean porciones ó fragmentos angulosos ó esféricos más ó menos gruesos del hilo nuclear, y los llaman *nucleolos nucleínicos*; para otros, son producciones plásmicas, ó sean inclusiones dependientes del carioplasma, denominadas *nucleolos plásmicos*; y finalmente, reciben aquel nombre, según Carnoy, los ovillos nucleares que en masa apretada ocupan próximamente el centro del núcleo: de aquí el nombre que les asigna de *nucleolos núcleos*.

Hoy los nucleolos se dividen en *verdaderos* y *falsos*. Los *verdaderos* son independientes de la red de linina, se pueden deslizar en el campo nuclear y se colorean por las tinturas **plásmicas: son llamados plasmosomas**. Por el contrario, los *falsos* (nucleolos nucleínicos) tienen caracteres *inversos*, ~~pues~~ ocupan la red de linina, y por ser fragmentos de cromatina se tiñen con los colorantes propios de ésta.

Por consiguiente, para los citólogos modernos son los nucleolos, pues puede haber uno ó varios en cada núcleo, cuerpos muy refringentes localizados entre los repliegues ó circunvoluciones del filamento nuclear y constituídos esencialmente por *pirenina* (de *πυρήνη*, pequeño núcleo), substancia albuminoidea especial que fija las materias colorantes rojas en vez de las azules, y soluble además en el ácido acético, que no disuelve los *chromosomas* ó discos cromáticos del hilo nuclear (fig. 182). Estos cuerpos son al núcleo lo que éste á la célula, y la propiedad de disolverse en el ácido acético, así

como la de ser eritrofilicos, los separa fácilmente de los discos ó granillos cromáticos del hilo nuclear.

5.° **Esferas directrices.**—Acopladas á la porción externa de la membrana nuclear, se observan en el núcleo uno ó dos corpúsculos denominados por Guignard *esferas directrices*, que en su constitución morfológica más compleja, y partiendo del interior al exterior, comprenden (véase fig. 175, e):

1.° Un nódulo plásmico y granuloso llamado *centrosoma*, en el centro del cual ha reconocido Bovaré la presencia de otro corpúsculo de suma delicadeza con el nombre de *centriolo*.

2.° Una masa protoplásmica hialina y no granular, de contornos no bien definidos y con refrangibilidad distinta á la del citoplasma, que, envolviendo al centrosoma, recibe el nombre de *esfera* (esfera atractiva, centrosfera, astrosfera). Esta esfera presenta frecuentemente dos zonas concéntricas que se colorean desigualmente: la zona interna, llamada *zona medular*, en contacto con el centrosoma, y la zona periférica, denominada *zona cortical*.

3.° De la esfera y á veces del centrosoma parten, en disposición radiada, filamentos claros de materia protoplásmica algo diferenciada, y que frecuentemente en sus trayectorias presentan series de hinchazones (citomicrosomas). El conjunto de estos filamentos constituye una figura que, por ser comparada con las radiaciones luminosas de un astro, ha recibido el nombre de *aster*.

El papel fisiológico de estas esferas es determinar la dirección según la cual ha de efectuarse la división del núcleo, y he aquí por qué se destacan y se hacen muy perceptibles en la fase reproductora celular. Estas esferillas han sido reconoci-



Fig. 182 —Célula parenquimatosa del *Phajus grandifolius*. —*b*, filamento nucleínico continuo; *n*, nucleolos (en número de dos); *a*, amiloplastos fusiformes con granillos de almidón (véase la figura 113). La membrana nuclear se distingue perfectamente.

das en muchos núcleos y principalmente en las células sexuales, huevos y embriones de algunas fanerógamas (*Lilium*), así como en las células de algunas plantas adultas. Probablemente existen en todas las células y no son percibidas por hallarse enmascaradas por el citoplasma general.

En cuanto al origen de estos elementos celulares, reinan diferentes hipótesis. De entre ellas (1) es comunmente aceptada la emitida por la escuela francesa, según la cual los centrosomas son partes diferenciadas del citoplasma, que en las células en reposo se hallan aplicadas contra la membrana nuclear, de la cual se separan en algunos casos para penetrar dentro del núcleo.

El argumento poderoso en favor de esta idea se debe á Guignard, que ha comprobado la existencia de algunos núcleos de células vegetales, con nucleolos y centrosomas á la vez.

**Composición y propiedades químicas del núcleo.**—El núcleo, en su porción carioplásmica, tiene composición análoga á la del citoplasma; pero en cuanto á su ovillo nuclear y nucleolo, están formados respectivamente por dos substancias ávidas de materias colorantes que reciben los nombres de *nucleína* y *paranucleína* ó *pirenina*.

La *nucleína* del ovillo nuclear, según observaciones de Zacharías (2), tiene las propiedades de disolverse en el cloruro de sodio al 10 por 100, y de desaparecer en parte por digestión artificial. De aquí sugirió la idea, iniciada por Plösz en el año 1873 (3), de que la *nucleína* existía en el núcleo al estado de *núcleo-albúmina*. Y, en efecto, estudios microquímicos más detallados y recientes aseguran hoy, que las *nucleínas* no sólo son *núcleo-albúminas*, sino que además se diferencian de los albuminoides del citoplasma en ser fosforadas, y cuyo fósforo forma parte del grupo prostético.

(1) La escuela alemana, con Hertwig á la cabeza, supone que los centrosomas tienen origen nuclear y que no son otra cosa sino nucleolos más ó menos modificados, que en el momento de la división celular abandonan el núcleo, pasando al citoplasma.

(2) E. Zacharías, *Ueber Eiweiss. Nuclein und Plastin: Bot. Zeit.*, 1882, página 648 *et suiv.*; 1883, pág. 209 y 252.

(3) Plösz, *Ueber die Eiweissart. Subst. der. Leberzelle: Pfüger's Archiv.*, 1873.

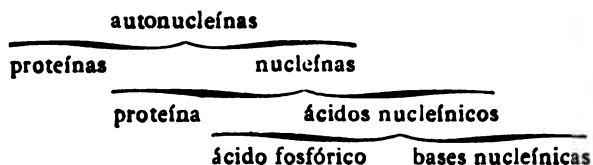


Estos *grupos prostéticos*, semejantes á los productos no hidratos de carbono que con la glucosa resultan de la descomposición hidrolítica de los glucósidos, son cuerpos no albuminoideos procedentes, como las proteínas, de la descomposición de los proteidos. Dichos grupos, en opinión de Kossel, son los instrumentos más importantes de las funciones vitales.

Los núcleo-albuminoideos, según Carracido (1), se dividen en dos grupos.

El primero, llamado *núcleo-albuminoideos alimenticios*, y también paranúcleo-albúminas, pseudonúcleo-albúminas ó *pseudonucleínas* para abreviar, son cuerpos que se distinguen porque no están organizados, forman parte del citoplasma, producen por hidrólisis sólo proteínas y ácido fosfórico. Es tipo de ellos la *caseína vegetal*, caracterizada por ser insoluble en el agua y en las disoluciones de cloruro de sodio y sulfato de magnesia, y soluble en los fosfatos, carbonatos y oxalatos alcalinos, así como en el fluoruro de calcio al 1 por 100. El alcohol la precipita sin desnaturalizarla.

El segundo, denominado *núcleo-albúminas verdaderas*, y con más brevedad *autonucleínas*, tienen como carácter fundamental ser cuerpos que se descomponen por hidrólisis en los términos que representa el esquema siguiente:



Ya en 1871 anunció Miescher (2) que la nucleína es la combinación de un cuerpo albuminoide con un complejo atómico que contiene ácido fosfórico. A este complejo le ha dado el nombre de ácido nucleínico, y le atribuye la fórmula  $C_{29}H_{49}N_9Ph_3O_{12}$ .

Se separan de los núcleos celulares utilizando el carácter ácido de estos albuminoideos y, por lo tanto, disolviéndolos generalmente en carbonato sódico y precipitándolos después por el ácido acético muy diluído.

La avidez de la nucleína por las materias colorantes ha hecho que se la designe por los histólogos con el nombre de *cromatina* (de  $\chi\rho\omega\mu\alpha$ , *chroma*, color); pero como esta substan-

(1) Carracido, *Química biológica*.

(2) F. Miescher, *Nuclein. In Med.-chem. Untersuch. o. Hoppe Seyler*, 1871.

cia parece ser probablemente el producto ácido del desdoblamiento de las autonucleínas, á esto se debe, que en el período de proliferación celular se disocian éstas, dando por resultado las nucleínas fijadoras, por su carácter ácido, de los colorantes básicos, mientras que en el período de reposo atraen moléculas de albúmina, produciendo agrupaciones protéicas muy ricas en proteína, dando lugar á la *pirenina* ó *paranucleína*, fijadora de los colorantes ácidos.

La cromatina coloreada por una mezcla de rubina y verde de metileno, se colorea en verde cuando es rica en fósforo, y en rojo si es pobre en esta substancia.

La *pirenina* sustituye á la nucleína en el transcurso de la vitalidad celular. En efecto: en aquellos tejidos en los que la multiplicación celular es activísima (meristemos), intensa es la absorción de los colorantes básicos, sean azules ó verdes (verde de yodo, verde de metilo), y débil la atracción de los colorantes rojos (hematoxilina, carmín), lo que indica que la nucleína es abundantísima. Pero allí donde las células cesan de tabicarse, lejos de los meristemos, las nucleínas desaparecen casi completamente, y los núcleos fijan especialmente las materias colorantes rojas ó ácidas como la eosina.

De lo dicho anteriormente se deduce que pueden hallarse en el núcleo dos substancias, cromática y químicamente distintas. La una, llamada *nucleína* y por los histólogos *cromatina*, que es abundante en filamento nuclear y con poder *cianofilico*, es decir, fijadora esencialmente de materias ó principios azules ó verdes. La otra, denominada *pirenina* ó *paranucleína*, muy abundante en los nucleolos, es también cromática, si bien *eritrofilica*, ó sea fijadora de las substancias colorantes rojas.

Esta polaridad cromática, que, como sabemos es consecuencia de la edad de las células, caracteriza también á los núcleos generadores. Así se observa, como más adelante veremos, que los núcleos masculinos son cianofilicos, y los femeninos eritrofilicos.

Las substancias colorantes básicas que más frecuentemente se usan para teñir los núcleos previamente fijados con el ácido acético, fénico, etc., son: la fuchsina y el carmín en *rojo*, el verde de metilo en *verde*, el violeta de París y la hematoxilina en *violeta*, el azul de anilina en *azul*, la nigrosina y el ácido ósmico en *negro*. Usado este último, no necesita fijación, pues

tiene la doble condición de ser gran fijador y colorante. Y entre los colorantes ácidos ó plásmicos de los nucleolos, se usa generalmente la eosina, etc.

Hay también materias colorantes dicrómicas y tricrómicas. Así, por ejemplo, el violeta de anilina tiñe el protoplasma en violeta azulado y el núcleo en rojo; y el picrocarminato amónico, tan recomendado por Strasburger, así como la cianina ó azul de quinoleína, son reactivos tan excelentes, que no sólo sirven para colorear de distinta manera las diferentes partes de la célula, sino que gozan de esta cualidad sin matar el protoplasma, lo cual tiene una importancia inmensa, pues sólo de este modo se ha conseguido estudiar los procesos carioquímicos en el seno citoplásmico, y los fenómenos de conjugación celular cuyo conocimiento es relativamente moderno.

La particularidad de disolverse la nucleína fresca en los álcalis y ácidos concentrados, es también para el micrógrafo de una utilidad grandísima. En efecto: gracias á esta propiedad de destruir con cualquiera de los reactivos expresados las numerosas é intrincadas vueltas espirales del filamento nucleínico, que enmascaran con su gran poder cromático todas las otras partes constitutivas del núcleo, ha podido colorearse y destacarse con claridad las estructuras del carioplasma y demás partes del núcleo.

En suma: las substancias que forman parte del núcleo son de dos clases, *cromáticas* y *acromáticas*.

A. Entre las substancias *cromáticas* se distinguen:

1.º La *cromatina* ó *nucleína*, que resiste á los ácidos enérgicos diluídos y á los débiles, y, por tanto, no es soluble en el ácido acético, se disuelve en el cloruro de sodio al 20 por 100, y tiene gran afinidad por los colorantes básicos precipitados cuando se encuentra el núcleo en la fase mitótica, es decir, cuando pasa la nucleína al estado de ácido nucleínico. En general, hallándose el núcleo en reposo fija principalmente los colorantes ácidos, como el nucleolo.

2.º *Pirenína* (paranucleína), corresponde al nucleolo: se hincha en los ácidos, es soluble en el ácido acético, se disuelve en el cloruro de sodio al 10 por 100, y tiene gran afinidad por los colorantes plásmicos ó ácidos, como la eosina, etc.

AA. Las substancias acromáticas más importantes son:

1.º *Anfipirenína*, que constituye la membrana nuclear.

2.º *Linina* ó *plastina*, que forma el retículo ó red delicada del carioplasma en el seno del núcleo.

3.º *Paralinina*, que ocupa las mallas de enquilema carioplásmico contenidas en la red de linina.

**Relaciones entre el citoplasma y el núcleo.**—Es tan estrecho el lazo de unión de estos dos elementos celulares, que la separación de ellos, á juzgar por los experimentos de merotomía celular, llevaría aparejada en breve tiempo la muerte de los mismos.

El citoplasma puede sin el núcleo, según Bonnier (1), manifestar su movimiento é irritabilidad propios; pero no olvidemos que dicho citoplasma necesita, para la nutrición y regeneración de la célula, del concurso del núcleo, aun cuando particularmente sea éste el foco principalísimo de la multiplicación y propiedades hereditarias de la célula.

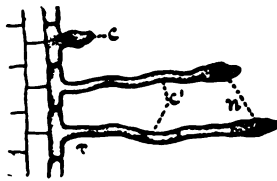


Fig. 183.—Pelos absorbentes de la raíz del guisante.—c, célula que comienza desde su porción media á la formación del pelo; c', células alargadas ó pelos: el protoplasma más denso y los núcleos n se encuentran en los extremos de aquéllos.

Por esto las relaciones entre el citoplasma y el núcleo, podemos dividir las en *nutritivas* y *reproductoras*.

**a. Nutritivas.**—Desde el punto de vista nutritivo, ha demostrado

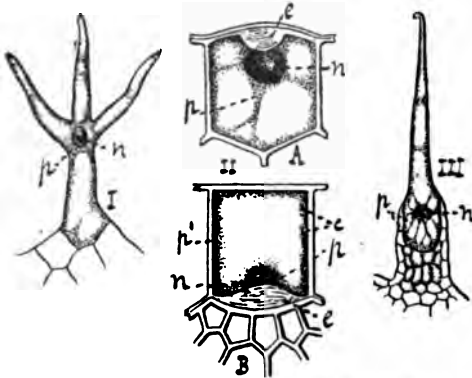
Haberland (2), con numerosos ejemplos, que todo núcleo se halla de ordinario próximo á la región de la célula donde se opera un crecimiento. En efecto: considerados los pelos radicales que se forman cerca de la extremidad de las raíces, y que reciben el nombre de pelos absorbentes por recibir osmóticamente los líquidos que se hallan en el suelo para alimentar el vegetal, observaremos que, al crecer gradualmente por su vértice, el núcleo se halla próximo á esta parte terminal (fig. 183). Otras veces, como sucede en la mayoría de los pelos de los tallos, crecen éstos por la base, en cuyo caso el núcleo hállase cercano á dicha base (fig. 184, III). Si los pelos son ramificados,

(1) Bonnier et Lecler du Sablon, *Cours de botanique*, pág. 51.

(2) Haberland, *Ueber die Beziehungen swischer Function und Lage des Zellkerns bei den Pflanzen*: Jena, 1887.

como el crecimiento es mayor en la base de la ramificación, en este punto se halla colocado el núcleo (fig. 184, I). Y por último, en los casos en que el espesamiento de las paredes de una célula sea desigual, encontraremos al núcleo próximo al punto de mayor espesor (fig. 184, II A y II B).

Estos ejemplos bastan y sobran para probar la estrechísima relación que existe entre el núcleo y el crecimiento de la célula, y, por tanto, entre dicho elemento y la nutrición. A pesar de ello, caracteriza al núcleo la ausencia de productos propios de la vida nutritiva; y si ex-



Figs. 184 á 187.—Relaciones entre el crecimiento de la membrana celular y la posición del núcleo.—I: pelo de *Aubrietia* creciendo y ramificándose por la parte media, en la que precisamente se halla encerrado el núcleo *n* por el protoplasma *p*.—II: A, célula de una hoja de *Aloe*: el espesamiento de la membrana se verifica en *e*, pared externa de dicha célula, y en su proximidad se halla el núcleo *n* y el protoplasma *p*; B, célula del *Carex panicea*: el espesamiento *e* se desenvuelve en la pared interna de la célula, donde previamente se halla el núcleo *n* encerrado por el protoplasma *p*; *c*, cloroplastos; *p'*, protoplasma parietal.—III: pelo de ortiga creciendo por la base: el núcleo *n*, envuelto por el protoplasma, se encuentra en esta porción basal del pelo.

cepcionalmente el núcleo produce almidón (pericarpio de la judía), cuerpos grasos (*Arum*), cristaloides (*Lathræa*), plasmitos y hasta clorofila (jóvenes frutos del *Physalis Alkekengi*), es debido, según Van Tieghem, á una regresión del núcleo, es decir, al paso del núcleo al estado de plasmito.

Numerosas experiencias nos dicen también que el núcleo es necesario á la regeneración de la célula. Estudiando Schmitz (1) diversas

(1) Schmitz, *Ueber die Zellkerne der Thallophyten*, 1880 (*Verhandl. d. natur. histor.*)

algas unicelulares cuyas células encerraban varios núcleos (*Valonia*), y haciendo sobre cada una de ellas distintos cortes, pudo observar que los fragmentos que contenían uno ó varios núcleos se completaban y se cubrían de una membrana, reconstituyendo así individuos completos; no sucediendo lo mismo con los fragmentos que no contenían núcleo.

Observando Gerassimoff (1) algas filamentosas del género *Spirogyra*, vió que algunas carecían de núcleo; y si bien por el momento eran irritables y dotadas de movimiento, perecían más rápidamente que las otras células nucleadas.

Klebs (2) ha hecho experimentos con otra alga (*Zygnema*), cuyas células no contienen más que un solo núcleo, y las consecuencias que ha sacado son interesantísimas. Para ello coloca un filamento de dicha alga en una disolución de azúcar al 16 por 100: el citoplasma, en estas condiciones, pierde su agua y se separa ó destaca de la membrana celular, contrayéndose en una ó varias esferas, afirmando que de todas éstas, tan sólo la esferilla citoplásmica que contiene el núcleo, es la porción que puede regenerar la célula, adquiriendo la propiedad funcional de originar otra pared celular nueva.

Sin embargo, la demostración más decisiva y concluyente respecto á la influencia del núcleo sobre la nutrición y regeneración de la célula, está en el hecho siguiente experimentado por Klebs. En efecto: siempre que dos esferillas protoplásmicas contraídas, una con núcleo, otra sin él, queden en comunicación por un pequeño istmo ó cordón protoplásmico, funcionan como una sola, y no sólo se encierran de una nueva membrana de celulosa, sino que también la esfera protoplásmica sin núcleo se regenera al mismo tiempo que la otra. De todo lo cual resulta que el núcleo ejerce su acción sobre la masa protoplásmica, siempre que aquél esté ligado á ésta por algún filamento protoplásmico.

En suma: el citoplasma, relacionado con el núcleo, contribuye eficazmente á todos los fenómenos nutritivos de la célula, mientras que aislado de toda comunicación ó separado de él, ni regenera la célula ni vive.

**αα. Reproductoras.**—Así como al citoplasma le están en-

(1) Gerassimoff, *Ueber die kernlosen Zellen bei einigen Conjugaten* (*Bulletin Société imperiale Moscow*).

(2) Klebs, *Ueber den Einfluss des Kerns in der Zelle* (*Biologisches Centralblatt*, tomo VIII, 1887).

comendadas las funciones nutritivas, siendo preciso para efectuarlas, según se ha demostrado, vivir en estrecha relación con el núcleo, á éste, en cambio, le está reservada, con el auxilio del citoplasma, la actividad generadora, ó sea los procesos de división nuclear necesarios para la multiplicación de las células, y las fases respectivas á la conjugación ó formación de huevos, que por desarrollo embriogénico han de producir los seres vegetales. He aquí la razón de ser considerado el núcleo como el vehículo de las propiedades hereditarias de las células, y el fundamento racional de estudiar esta cuestión en fisiología con el debido detenimiento en la parte denominada *citogénesis*.

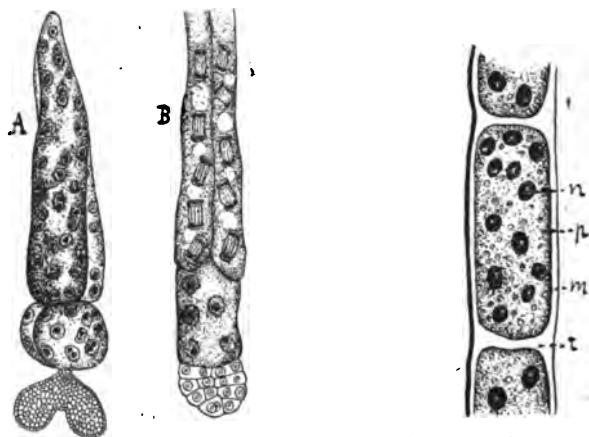
**Energidas.**—Sachs ha designado con el nombre de energidas (de la palabra griega *ἐνεργός*, *energós*, actividad, acción eficaz), al conjunto de núcleo y porción ó masa citoplásmica respectiva; y como se ha dicho anteriormente que los dos elementos celulares cooperan á la nutrición, crecimiento y reproducción, es decir, que el consorcio ó enlace de ambos constituye el *potencial* de renovación de la materia viva en la proporción de su consumo, determinando en la vida del sér el equilibrio nutritivo ó metabolismo celular, he aquí por qué Bonnier (1) considera á la energida como la unidad morfológica y fisiológica.

No cabe duda que en la mayor parte de los casos la célula no tiene más que un núcleo, y de consiguiente, el citoplasma contribuye con dicho elemento á la nutrición, crecimiento y reproducción celulares, es decir, que la célula constituye por sí la unidad morfológica y fisiológica. Pero como puede suceder también que las células contengan muchos núcleos (células multinucleadas), llegando á contarse por cientos y miles, y cada uno de éstos, con sus porciones de protoplasma respectivas, corresponde á distintas energidas, resultará que en cada una de estas células habrá tantas unidades morfológico-fisiológicas como energidas, si bien subordinadas á la actividad funcional de la célula madre, que sigue conservando la individualidad de que carecen aquéllas, las que no adquirirán su autonomía, hasta tanto que, disociadas ó separadas siguiendo los procedimientos ya conocidos, regeneren otras tantas células

(1) Bonnier, *Cours de botanique*, 1901, pág. 63.

que puedan vivir libre é independientemente, constituyendo verdaderos organismos ó individualidades elementales.

Necesario es, sin embargo, para que esto se realice, que las células multinucleadas sean *jóvenes*, y *definitiva* la pluralidad de núcleos; sirvan de ejemplo las células del suspensor de las Vicieas (*Orobus angustifolius* (fig. 188, A), *Pisum sativum* (fig. 188, B), las fibras multinucleadas liberianas (*Lupulo*, *Ortiga*, *Vinca*), células ramificadas laticíferas (*Artocarpáceas*, *Apocináceas*, *Asclepiadáceas*), células fusionadas ó simplastos



Figs. 188 y 189.—Fragmento del suspensor de las Vicieas.—A del *Orobus angustifolius* con muchos núcleos.—B, del *Pisum sativum* con varios núcleos en vías de bipartición.

Fig. 190.—Fragmento del alga *Cladophora* con células de varios núcleos.—t, tabique celular; m, membrana; p, protoplasma; n, núcleo.

(*Euforbiáceas*), y por último, las células denominadas por Van Tieghem *artejos* de los hongos (*Mucor*), algas (*Cladophora* (fig. 190), *Spirogyra*). Pues si, por el contrario, las células multinucleadas son *temporales* (saco embrionario de las *Fanerógamas*), ó *viejas*, en las que se han degradado los núcleos con la edad y á las que Carnoy denomina *células multinucleadas tardías* como en las (células parenquimatosas del peciolo de la *Sparmannia africana* (véase fig. 173) y ramos adultos de la *Chara fætida* (véase fig. 174), no es posible regenerar las células con dichos elementos.



**Interpretación de las células multinucleadas.**—La significación fisiológica de dichas células reconoce dos orígenes distintos según se deduce de los hechos observados.

A veces proceden de un solo núcleo que ha sufrido sólo la división nuclear (*cariodiéresis*), sin repartición particular del citoplasma (*plasmodiéresis*); mientras que en otras, la célula multinucleada es originada por una célula uninucleada, como ocurre frecuentemente en el embrión.

En una palabra, y según los casos, la célula, con su núcleo, representa bien el estado primitivo y original (teoría celular), ora el estado secundario y adquirido (teoría del simplasto).

Según esto, las células multinucleadas, dejando á un lado las *tardías* de Carnoy, equivalen entonces á una ó á un grupo de células.

En efecto: si conformes con Sachs y Kuppfer llamamos *energida* á la zona de protoplasma que se halla bajo la esfera de atracción de un núcleo, resultará que en una célula uninucleada, la energida estará representada por todo el citoplasma, mientras que en una célula con muchos núcleos, existirán tantas energidas como núcleos; de modo que cada energida representa, por consiguiente, una fracción del citoplasma en la célula considerada.

**Origen del núcleo.**—El origen del núcleo, como el del citoplasma, es desconocido: por eso Van Tieghem dice muy oportunamente que se halla escondido en el pasado más remoto.

La aparición de un nuevo núcleo en el seno de un citoplasma desprovisto de él, no se ha observado en planta alguna.

En aquellas células en que todavía no se ha diferenciado el núcleo, existe como emulsionada en el citoplasma la substancia cromática ó nuclear que á aquél corresponde, constituyéndose más tarde dicho núcleo por concentraciones ó atracciones sucesivas de los muchísimos elementos análogos ó nucleares en el citoplasma dispersados. Muchos ejemplos abonan este modo de ver: en algunos granos de polen y en los tubos polínicos, los núcleos respectivos desaparecen momentos antes de la fecundación, sucediendo lo mismo con algunos núcleos del saco embrionario después de la fecundación. Igualmente desprovistos de núcleos se presentan también los plasmodios adultos de los Mixomicetos, y haríamos interminable el número de ejemplos que pudieran citarse respecto de apariciones y desapariciones nucleares. Todo lo cual no quiere decir que la substancia nuclear se haya destruído, no, sino que está diseminada, dispersa ó como emulsionada en el cito-

plasma, en fragmentos tan menudísimos que ni el microscopio puede físicamente delatar.

Sólo en el caso de que la célula pierda su actividad ó muera, observaremos la desaparición del núcleo acompañado del citoplasma.

Resulta, por consiguiente, que todo núcleo procede de otro anterior por vía de segmentación ó división directa ó indirecta. En cada nueva bipartición del núcleo, toda la masa de éste se difunde y distribuye en el citoplasma general de la célula, conservándose distinta en dicho citoplasma la substancia fundamental de aquél, para dar origen posteriormente á dos nuevos núcleos que integran ó suman entre los dos la materia nuclear de que estaba formado el núcleo precedente.

**Ausencia del núcleo.**—Por delicados procedimientos de merotomía celular, se ha conseguido aislar en las células el citoplasma y el núcleo respectivos; deduciendo de la separación, que así como los gametos masculino y femenino viven algún tiempo disociados, y después se alteran, degradan y mueren, si no han conseguido la finalidad á que estaban predestinados, cual es constituir por conjugación un nuevo sér, así también el citoplasma y núcleo divorciados mueren. Esto nos dice que para el debido funcionamiento de las células, es necesario, como hemos dicho antes, el consorcio de los dos elementos principales que le constituyen, ó sea la simbiosis, si nos es permitida la frase, entre el citoplasma y el núcleo.

De donde se deduce que *no hay célula sin núcleo*; y si muchas Talofitas (bacteriáceas y hongos del grupo de los *Saccharomyces*) se han supuesto desprovistas de núcleo, por haber sido imperceptibles á la vista de los observadores, hoy, merced á los delicados procedimientos histológicos de merotomía celular y á su delación con reactivos apropiados y sensibles, se hace evidente su existencia, aun cuando la pequeñez ó el grado de esparcimiento de la substancia nuclear en el seno del citoplasma sea grandísimo.

## PARTE SEGUNDA

### FISIOLOGÍA CELULAR

#### SECCION PRIMERA

##### FENÓMENOS FÍSICOS EXTERNOS

##### CAPITULO PRIMERO

###### CONDICIONES NECESARIAS PARA LA VIDA DE LA CÉLULA RADIACIÓN: EFECTOS DE LA RADIACIÓN

**Fisiología celular.**—La fisiología celular tiene por objeto el estudio de los fenómenos ó funciones que se celebran en las células.

Una vez estudiada la morfología, tanto externa como interna, de la célula, corresponde entrar de lleno en el funcionamiento respectivo á cada una de sus partes, á la manera que la explicación del movimiento y trabajo de una máquina exige previo y detallado conocimiento de las piezas de que se compone.

En la célula, considerada aisladamente, se presentan de un modo tan cumplido las manifestaciones vitales, que deciden á conceptuarla como un verdadero organismo autónomo; esta actividad reside preferentemente en el protoplasma, como parte primordial de la célula, del cual se derivan por diferenciación los elementos que integran la estructura de ésta y que, una vez formados, comparten el funcionamiento total de la misma.

Reunidas las células, el funcionamiento de cada una se

especializa dentro de ciertos límites, subordinado al de las demás, manteniéndose así la vitalidad de la agrupación, como suma ó síntesis de la vitalidad de los individuos que la forman. Esta acomodación de las células al funcionamiento que á cada una queda encomendado en la distribución de la actividad del conjunto, recibe el nombre de *diferenciación fisiológica*: tal es el proceso de formación de los órganos, tanto más complicados cuanto mayor grado alcance en ellos esta *división del trabajo*, y de la planta entera en que tan armónicamente se hallan combinados los elementos constitutivos.

Los fenómenos fisiológicos observados en las células, son de dos clases: unos se manifiestan por cambios entre la célula y el medio ambiente que le rodea; los otros se cumplen en el seno mismo de la célula por la acción recíproca de sus diversos elementos. Los primeros, llamados *físicos*, son algo conocidos; en cambio, los segundos, ó *químicos*, se hallan todavía envueltos en la obscuridad.

Los fenómenos físicos pueden ser, á su vez, *externos é internos*.

#### **Fenómenos físicos externos.**

En las células se sintetizan, por decirlo así, todas las funciones realizadas en los seres pluricelulares. La actividad externa de una planta es la actividad externa de los citoplasmas y plasmitos celulares de que está constituida: por consiguiente, todos los fenómenos físicos externos de una célula, son la resultante de los fenómenos citoplásmicos originados por las distintas acciones del medio exterior.

Ahora bien: para el ejercicio de toda vida, sea la planta unicelular ó pluricelular, son imprescindibles dos condiciones: una cierta naturaleza é intensidad de *radiaciones*, y una determinada calidad y cantidad de *alimento*. Así acontece que actuando el medio exterior, con su pesantez, radiación, gases y líquidos, sobre los citoplasmas, hace que éstos se modifiquen aumentando ó disminuyendo sus crecimientos, y, si obran desigualmente, provocando flexiones en los órganos de las plantas en vías de desarrollo, que son traducidas por curvas geotrópicas, termotrópicas, fototrópicas, hidrotrópicas, etc., según el agente que las produce.

Mas como este detenido estudio pertenece de lleno á la fisiología general, pues para originarse estas evoluciones curvas ó flexiones se hace necesario el concurso de varias células con actividades citoplásmicas en creciente apogeo, ó bien tejidos primitivos cuyos elementos sean en su mayoría capaces de reproducirse (meristemos), y nuestra misión por ahora es la fisiología de las células libres ó aisladas y autónomas (Bacteriáceas, Oscilarias), en las cuales todas las partes del cuerpo obedecen por igual á la acción del medio, llamadas por esta razón *isotrópicas*, inversamente á lo que sucede á las plantas pluricelulares que son *anisotrópicas*; sin embargo, por ser de utilidad para el concepto fisiológico que debemos tener de las células, indicaremos ante todo algunas consideraciones respecto á las causas y efectos que, principalmente la *pesantez* y *radiación*, ejercen sobre los citoplasmas celulares, terminando con el *alimento*, procedente también del medio exterior, en atención á que son, principalmente las dos últimas, las causas primordiales de los interesantísimos fenómenos que, tanto físicos como químicos, se realizan en el interior de las células.

#### PESANTEZ

La atracción que el globo terrestre ejerce sobre todos los cuerpos que gravitan en su superficie, tiene marcada influencia sobre la célula y su contenido. .

La acción de la pesantez sobre las células y sus citoplasmas, es siempre *directrix*. Y si llamamos *geotactismo* la sensibilidad de los citoplasmas celulares á la influencia de la pesantez, podemos asegurar que todas las células son geotácticas.

Si las células son *móviles* y sus geotactismos no están ligados al crecimiento citoplásmico, cambian de posición, si bien no siempre, siguiendo la vertical del lugar, sea de abajo arriba, sea de alto abajo. Así, por ejemplo, el plasmodio de los Mixomicetos, denominado *Fuligo septica* (*Æthaliium septicum*), que vive en el *tan* de los curtidores, se eleva bajo la influencia de la pesantez, serpenteando á lo largo de las paredes verticales húmedas. Y si sustituimos la fuerza centrífuga por la pesantez, sirviéndonos de la ingeniosa rueda de

Knight (1) colocada en posición vertical y con el plasmodio en su disco, y hacemos que gire rápidamente por medio de un aparato de relojería, el mixomiceto entonces camina en dirección al eje de rotación. Este geotactismo se dice que es *negativo* por seguir, claro está, dirección contraria á la fuerza centrífuga, que, en este caso, representa á la pesantez. Inversamente, los cuerpos ó células móviles que manifiestan su geotactismo en sentido directo á la acción de la gravedad, se dice que están dotados de geotactismo *positivo*.

Pero si las células móviles tienen ligados sus geotactismos á los crecimientos citoplásmicos, entonces los citoplasmas y núcleos respectivos se colocan en el interior de las células según la dirección de la vertical; y como sabemos (véase pág. 260) que el núcleo ayuda al citoplasma en el crecimiento local de todo elemento celular, la posición que la pesantez les imprima, es de creer se combine con la promovida por otros agentes (luz, calor, etc.), y los seres, en este caso, giren y adopten diversas posiciones para regularizar la acción del medio, y conservando por isotropía el crecimiento celular en todo el derredor, se favorezca el desarrollo de un modo uniforme, y se asegure el necesario equilibrio de las partes para el buen régimen funcional de estos organismos unicelulares.

Finalmente, si las células son *inmóviles* y en vías de crecimiento, ora estén fijas á los órganos (pelos radicales), bien constituyan tejidos de formación (meristemas), los citoplasmas adoptan desde luego posiciones subordinadas á la pesantez; y como los núcleos, en virtud de sus geotactismos positivos ó negativos, descienden ó se elevan rodeados de citoplasma, y se localizan respectivamente en las paredes inferiores ó superiores de las células, para aumentar, como es sabido, el crecimiento de estas partes, retrasando, como es natural, las diametralmente opuestas, la resultante de esta suma de efectos tan contrarios es la formación de curvas ó flexiones que con el nombre de *geotropismos* son conocidos en botánica. Estos geotropismos son *positivos* ó *negativos*, según que los geotactismos celulares sean respectivamente negativos ó positivos: en el primer caso, se aceleran los crecimientos de las caras celulares superiores y se retrasa el de las inferiores, originando en el

(1) Knight, *Philosophical Transactions*, 1806, pág. 99

meristemo curvas cóncavas inferiormente y convexas superiormente que dirigen los tejidos hacia abajo y verticalmente (*geotropismo positivo*); y en el segundo, cambia el funcionamiento en sentido inverso, produciendo flexiones que dirigen los tejidos hacia arriba (*geotropismo negativo*).

Es de importancia muy capital que la pesantez obligue á los vegetales á estas flexiones geotrópicas, pues gracias á ellas las plantas se ponen en relación de la mayor cantidad de medio circundante. Así, por el *geotropismo positivo del meristemo radical*, la planta se fija en el suelo con gran penetración, y además de sostenerla, toma de la tierra los alimentos necesarios á su cumplimiento funcional (*raíz*); y por el *geotropismo negativo del meristemo caulinar*, se dirige hacia la atmósfera para absorber de ella los materiales precisos á su conservación y las radiaciones convenientes á su desarrollo (tallo).

En vista de lo dicho, ocurre preguntar: ¿por qué una misma causa exterior produce efectos tan opuestos (geotropismos positivos y negativos), no sólo sobre partes del cuerpo muy próximas y dotadas de la misma estructura (meristemos radical y caulinar), sino sobre porciones ó regiones de una misma célula (pelos radicales)? He aquí una de las razones que comprueban lo poco esclarecido que se halla todavía este asunto.

### RADIACIÓN

Se entiende con este nombre el conjunto de radiaciones diferentemente refrangibles que emanan del astro del día. Esta suma de radiaciones absorbidas por los seres organizados, son la base ó energía necesaria al buen desempeño de sus funciones orgánicas.

El principal foco de estas radiaciones es el sol, única estrella que entre todas las demás se destaca por su radiación esplendorosa, y origen vibrante del éter que envuelve y penetra los cuerpos que se hallan en la superficie de la tierra.

El análisis de estas radiaciones, mezcladas y confundidas en el rayo luminoso solar, está estereotipado en el espectro, cuyas regiones el botánico necesita recordar para ultimar las consecuencias fisiológicas y los efectos que con las distintas refrangibilidades produce la radiación sobre las plantas.

Todos sabemos, por Física, cómo en una cámara oscura se proyecta sobre una pantalla la sucesión de rayos de todas refrangibilidades y que constituyen el *espectro solar*.

El espectro solar es una banda, al parecer continua, de colores (rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violado), que está surcada por multitud de líneas oscuras, de las cuales las más principales están marcadas y nombradas por letras desde *A*, extremidad del rojo, hasta *H*, extremidad del violeta (fig. 191). Esta banda luminosa *AH* indica que la luz solar procede de sustancias candentes no gaseosas, y que atraviesan luego un espacio ocupado por gases que absorben parte de la luz, precisamente la misma que ellas darían si, sin dejar de ser gases, fueran luminosos.

Este espacio ó capa gaseosa de mil á dos mil kilómetros de espesor y en estado candente, siempre á temperatura inferior á la *fotosfera* del sol con la cual está en inmediato contacto, se llama *estrato inversor*, en razón á que las líneas oscuras de todas las regiones del espectro se hacen perceptibles durante uno ó dos segundos al principio y fin de los eclipses totales de sol, ó sea en el momento en que la luna acaba de cubrir la fotosfera y cuando ésta va á aparecer de nuevo; las líneas oscuras se vuelven entonces brillantes durante un corto tiempo, dando lugar al *espectro relámpago*, cuyo análisis delicado es, entre otros, uno de los importantes descubrimientos que los astrónomos quieren realizar en todos los eclipses totales que nos sorprenden y admiran, pues no se sabe si el espectro relámpago reproduce exactamente en líneas luminosas el espectro ordinario de la superficie solar, y de cuya resolución depende el conocimiento y distribución de los elementos que forman la  *cromosfera*, masa gaseosa continuación del *estrato inversor*.

El brillo de esta banda luminosa y diversamente coloreada, aumenta rápidamente desde el rojo extremo *A* hasta el amarillo medio, un poco más allá de la raya *D*, donde llega á su máximo de intensidad *L*, para disminuir después lentamente hasta el violeta extremo *H*.

La curva *ALH*, representada en la figura, determina la marcha de la intensidad luminosa en el espectro.

A uno y otro lado de esta región ó banda de luz, que absorbida representa una energía de consideración para realizar importantísimos fenómenos fisiológicos, se encuentran las porciones extremas y oscuras llamadas *región infra-roja PA*,



la menos refrangible y situada antes del rojo, y la *región ultra-violada HS*, más refrangible del espectro, opuesta á aquélla y á continuación del violeta. La obscuridad que en ellas se nota, dejando á un lado la multitud de líneas oscuras y frías que surcan todo el espectro y cuya causa conocemos, es debida de una parte á las rayas absorbidas por la atmósfera, materias de que se compone el prisma dispersor (1) y lentes empleados, y de otra, los medios refringentes del ojo.

La *región infra-roja PA* se distingue por la sensación de

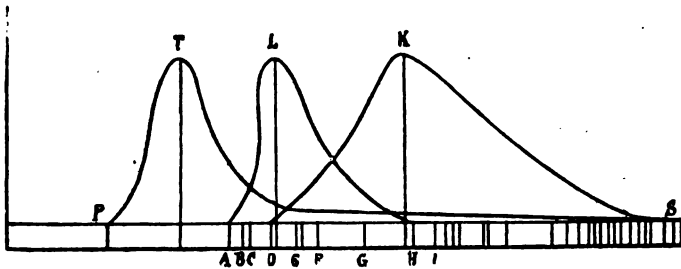


Fig. 191. — Espectro solar. — *PA*, región infra-roja; *AH*, región luminosa con sus principales rayas *A, B, C, D ... H, I*; *HS*, región ultra-violada con sus principales rayas oscuras; *PTS*, curva de intensidades caloríficas; *ALH*, curva de intensidades luminosas; *DKS*, curva de intensidad de acción sobre las sales de plata.

calor que produce, y de aquí que se le conozca con el nombre de región calorífica. La curva *PTS*, dibujada en la figura, indica la situación é intensidad calorífica del espectro originado por un prisma de sal gemma. Para expresar fielmente el aumento de calor de esta región, ha sido preciso seguir lentamente la dirección de *S* á *P* con un termómetro muy sensible, y anotar con delicadeza la temperatura en las distintas posiciones, resultando que el máximo *T* se halla en la porción espectral infra-roja (2). Dicho termómetro acusa al mismo

(1) El prisma de vidrio absorbe mucho las radiaciones infra-rojas y ultra-violadas. El prisma de sal gemma absorbe poco las menos refrangibles, y el prisma de cuarzo absorbe poco las más refrangibles; por consiguiente, para obtener un espectro de gran extensión, nos serviríamos de prismas de estas dos substancias.

(2) La posición del punto *T*, máximo de intensidad calorífica, difiere según la substancia del prisma dispersor. Así, para un prisma de vidrio estaría

tiempo, con rigurosa exactitud, el número y posición de las diferentes líneas oscuras y frías, cuyos respectivos rayos han sido absorbidos por el estrato inversor, capa gaseosa envolvente de la fotosfera. De la simple inspección de la curva termométrica, se infiere además que el punto  $P$ , límite de acción calorífica, se halla á una distancia del rojo  $A$ , próximamente igual á la que separa el rojo  $A$  del violeta  $H$ , límite á partir del cual dicha acción es casi imperceptible.

El espectro producido por una *rejilla* (serie de rayas paralelas ó de hilos muy aproximados), evita completamente la absorción de los rayos poco refrangibles, en cuyo caso el punto  $P$  se hallaría de  $D$  tan lejano como de  $S$ .

La *región ultra-violada*  $HS$  y más refrangible del espectro, es interesante por su acción reductora sobre las sales de plata: de aquí el nombre de *región química* con que se la distingue (1). En efecto: si sustituimos el termómetro empleado anteriormente, por papeles bañados con una sal de plata (nitrato, cloruro, yoduro ó bromuro), y observamos escrupulosamente la alterabilidad ó inalterabilidad de éstos en las distintas posiciones en que se hayan colocado siguiendo la dirección de  $P$  á  $S$ , obtendríamos la curva reductora  $DKS$ ; indicándonos con esto que el papel queda inalterable desde  $P$  hasta  $D$ , desde cuyo punto comienza la acción sensible hasta el máximum  $K$  situado en el violado, para descender hasta  $S$ , donde se para la reducción, es decir, á una distancia del violeta extremo  $SH$  igual á la suma de las otras dos regiones  $PA$  y  $AH$ . Dichos papeles indican al mismo tiempo las diferentes posiciones de las líneas oscuras ó trazos ausentes de rayos que, por no alterar las sales de plata, son otras tantas líneas blancas sobre fondos más ó menos negros, según la intensidad reductora.

De lo dicho no se desprende que ambas regiones oscuras

el punto  $T$  en el rojo; si el prisma es hueco y lleno de agua, en el amarillo. Finalmente, con un espectro de rejilla que da las verdaderas intensidades luminosas, si bien difícil de obtener, el máximum estaría situado en el amarillo entre  $D$  y  $E$ , descendiendo la curva por igual hacia los límites  $P$  y  $S$ .

(1) Este nombre es impropio, pues se ha descubierto recientemente una substancia sensible á las radiaciones infra-rojas, con la cual se fija la imagen de las rayas de esta región (Van Tieghem).

sean exclusivamente caloríficas ó químicas, pues si fijamos nuestra atención en las curvas termométrica, luminosa y argéntico-reductora de la figura, veremos que la porción *DH* de la banda luminosa (amarillo, verde, azul, añil y violado) goza de las tres cualidades, es decir, que tiene la condición de ser luminosa, calorífica y reductora.

En suma: sintetizando lo anteriormente dicho, se comprende que estas regiones calorífica, luminosa y química, separadas y dispersas en el espectro para su análisis, se hallen superpuestas, mezcladas y confundidas en el más simple rayo de sol, al modo y manera como todos los sonidos emitidos por los instrumentos de una orquesta se hallan agrupados en la pequeña cantidad de aire que hiere nuestro oído, y que dicho rayo de luz, con las radiaciones elementales que tiene, produzca efectos diversos sobre las células y sus asociaciones, conciliándose unos con otros para el oportuno régimen funcional.

Mas como todos los fenómenos que la radiación provoca en la planta exigen un tiempo bastante largo y una constancia é intensidad determinadas que ni el sol ni la luz difusa del día puede proporcionar, se ha recurrido á los *manantiales artificiales* (que como el gas del alumbrado, muy usado frecuentemente), tienen la ventaja sobre aquél, de poder regular su constancia en la presión; de fijar la intensidad conveniente, alejando ó acercando la planta al manantial, teniendo en cuenta su relación inversa con el cuadrado de la distancia; y, por último, de hacerse más sensibles las radiaciones infra-rojas y ultra violadas, no absorbidas en este caso por la atmósfera.

**Métodos para hacer actuar sobre la planta radiaciones de refrangibilidad determinada.**—Para estudiar la acción de las diversas radiaciones, se pueden emplear tres métodos:

1.º El mejor sería formar un espectro con la ayuda de una *rejilla* ó serie de rayas paralelas ó hilos muy aproximados. En los espectros así obtenidos, los rayos están proyectados proporcionalmente á su longitud de onda, y no hay más que exponer la planta á la influencia de todas las regiones del espectro. Todos los haces de rayos contienen en el mismo ancho igual número de radiaciones, y comparando los efectos obtenidos, se tendría realmente el de los efectos propios á las diversas radiaciones elementales. Desgraciadamente, este género de experiencias no ha podido ser realizado todavía.

He aquí, para las líneas principales del espectro solar, el valor de las longitudes de onda en millonésimas de milímetro, y el número respectivo de vibraciones en una millonésima de segundo:

|  | Longitud de onda. | Vibraciones. |
|--|-------------------|--------------|
| Límite extremo de la región infra-roja <i>P</i> (prisma de sal gemma)..... | 4.800             | 63 millones. |
| Rojo extremo.....  | 738               | » —          |
| Raya <i>A</i> .....  | 720               | » —          |
| Raya <i>D</i> .....  | 589               | 509 —        |
| Amarillo medio <i>L</i> .....  | 553               | 529 —        |
| Raya <i>H</i> .....  | 396               | 758 —        |
| Violeta extremo.....   | 369               | » —          |
| Límite extremo del ultra-violado (prisma de cuarzo).....                   | 317               | 946 —        |

Según esto, las radiaciones menos refrangibles, y como es sabido las más calientes, corresponden á los sonidos más graves, y las radiaciones más refrangibles y reductoras de las sales de plata á los sonidos más agudos; y como entre las radiaciones más lentas y más rápidas, la vista no percibe sino la serie media, del mismo modo entre los sonidos más graves y más agudos, el oído no admite otros que los respectivos á la serie media. A igualdad de longitud de onda y duración de vibración, la extensión ó amplitud de vibraciones etéreas determina la *intensidad* de la radiación (temperatura si es térmica, brillo ó resplandor si es luminosa), de la misma manera que la amplitud de las vibraciones aéreas determina la intensidad ó la fuerza del sonido.

Si comparamos las longitudes de ondas luminosas de la serie media, 738 para el rojo, 369 para el violeta (porción visible), observaremos que están en la relación de 2 á 1, es decir, de una octava; pero si la comparación se hace extensiva á las longitudes extremas del espectro total 4.800 y 317, y cuya relación próxima es de 15 á 1, resulta entonces que el espectro total comprende 4 octavas (3 octavas invisibles).

Además, los sonidos más graves que el oído distingue, corresponden á 30 vibraciones por segundo, y los más agudos percibidos son de 36.000 á 40.000 vibraciones; de donde se infiere que los números extremos están en la relación de 1 á 1.300, y, por consiguiente, que la escala de los sonidos perceptibles por el órgano auditivo, es próximamente 650 veces más extensa que la escala de radiaciones perceptibles por el ojo.

2.º Se puede emplear un espectro de prisma interceptando las diversas regiones con diafragmas opacos. Este método, seguido por gran número de observadores, tiene un defecto grave que exige muchas precauciones. En efecto, como la dispersión es muy desigual según el prisma que se tome, los distintos haces de rayos que actúan sobre la planta contienen en el mismo ancho número muy diferente de radiaciones, y claro está que para obtener un resultado siquiera aproximado, es forzoso, teniendo en cuenta la dispersión particular del prisma, deducir por el cálculo la situación que tendrían las radiaciones elementales en el espectro de longitud de onda, ó sea en el espectro de rejilla.

En fin, para obtener un espectro puro, sería necesario que la radiación solar pasara por una hendidura estrecha; pero como este procedimiento disminuye la intensidad luminosa, y por consiguiente la de acción, la debilidad del efecto producido sobre las plantas daría lugar á conclusiones muy inexactas.

La comparación de las longitudes de onda de las distintas líneas del espectro solar, nos hace ver que las radiaciones son tanto más apretadas y condensadas cuanto menos refrangibles, y tanto más espaciadas y dilatadas cuanto más refrangibles, siendo un testimonio de esto la forma rápidamente ascendente del lado menos refrangible y lentamente descendente del más refrangible en las tres curvas de intensidad dibujadas en la figura, que reconoce por causa la refracción del prisma. Los cuerpos refringentes no desvían las radiaciones proporcionalmente á la longitud de las ondas, siendo la desviación menor para las grandes longitudes de onda, y mayor para las más pequeñas. Así sucede que la dispersión es débil en el infra-rojo y rojo, y muy fuerte en el violeta y ultra-violado.

Resulta de aquí que el máximo de intensidad térmica no está en su verdadero lugar, pues teniendo en cuenta la dispersión del prisma, se llegaría por el cálculo á asignarle su posición real, que sería en el amarillo medio entre *D* y *E*, es decir, donde se halla el máximo de luz.

En el espectro producido por rejilla, todas las radiaciones son igualmente desviadas, pues la dispersión es proporcional á la longitud de onda. En dicho espectro, fiel representación de la luz del sol, la curva de la intensidad luminosa es simétrica con relación al máximo situado en el amarillo; la curva térmica se confunde con la anterior, estando, claro está, coincidiendo los dos máximum; y como, por otra parte, estos espectros no pierden, como los de los prismas,

sus radiaciones extremas, y sobre todo las menos refrangibles, el punto *P* se halla del amarillo á una distancia igual que el amarillo del punto *S*.

Basándose en el prisma, Zeiss y otros fabricantes han construido dos aparatos auxiliares al microscopio que, con los nombres de *ocular espectroscópico* y *objetivo espectroscópico*, sirven respectivamente, y como es sabido, para estudiar el espectro de absorción de la clorofila y la asimilación del carbono.

3.º Consiste en hacer pasar la luz blanca á través de sustancias absorbentes. Este método, que permite operar con luz difusa y con manantiales artificiales, se presta á experiencias de larga duración, y como permite aplicar á una planta de gran superficie una radiación determinada, es de un empleo más frecuente y más cómodo que el precedente.

Los líquidos absorbentes se disponen en cubetas de vidrio incoloras y de caras paralelas, que se colocan frente á la ventana de la cámara oscura; entre ellos, los más importantes son:

La disolución de yodo en el sulfuro de carbono transmite solamente los rayos infra-rojos; si es poco concentrada, facilita el paso además á los rojos hasta la raya *B*. La disolución acuosa de alumbre absorbe, por el contrario, los rayos infra-rojos.

Dejan pasar igualmente: la disolución en el agua de permanganato y de bicromato de potasio, las radiaciones comprendidas entre las rayas *A* y *B*; la disolución de escorceína, las comprendidas entre las rayas *B* y *C*; la disolución mixta de acetato de níquel, uranio y de bicromato de potasio, el anaranjado con un poco del rojo, y el amarillo con un poco de verde; la disolución de bicromato de potasio, el rojo y la mitad del verde; la misma disolución mezclada con sulfato de cobre amoniacal, el verde; y el azul de Prusia disuelto en el ácido oxálico, el azul y un poco del verde.

No hay disolución conocida que deje sin absorber el espectro ultra-violado, ni se conoce substancia alguna con la cual se obtenga la coloración amarilla pura ni el violeta.

La solución de bicromato de potasio y la solución amoniacal de óxido de cobre, separan en dos mitades la radiación

total. El bicromato, dejando pasar desde el rojo extremo hasta la mitad del verde, y el óxido que se deja atravesar por todas las radiaciones comprendidas entre el verde y el ultra-violado. Para ello, es necesario regular convenientemente la concentración y el espesor de la capa líquida. Esta disolución se presta á aplicaciones interesantísimas.

**Efectos de la radiación.**—Conocidos brevemente los métodos para dirigir sobre las plantas radiaciones de refrangibilidad determinada, corresponde ahora, como es natural, observar cuidadosamente los efectos que produzcan estas radiaciones elementales en los seres uni ó pluricelulares, y en vista de ellos, deducir las consecuencias fisiológicas que haya lugar.

La radiación solar que cae sobre una planta, es en parte absorbida, y en parte reflejada ó transmitida. De la parte absorbida, que es la única que tiene acción sobre los seres, una porción es retenida por el citoplasma; la otra por la clorofila, ó toda ella por el citoplasma en las plantas que carecen de pigmento verde.

La influencia de la radiación en el crecimiento ejercida con uniformidad, se denomina *actinoauxismo*. Para el caso particular de que la acción sea desigual, se reserva el nombre de *actinotropismo*; llamado *termotropismo* si el agente que le origina es el calor, y *fototropismo* cuando es motivado por la luz.

Ahora bien: la radiación absorbida produce principalmente dos efectos diferentes: 1.º, *efecto mecánico*, consistente en que ciertas partes del cuerpo, ó todo él, se mueven ó cambian de posición; y 2.º, *efecto químico*, según el cual unas substancias se descomponen en el tráfago vital, mientras que otras se forman á consecuencia de combinaciones nuevas.

## EFECTO MECÁNICO

### 1.—Acción térmica.

Se dice de ordinario que para vivir es suficiente que la planta reciba calor; y en efecto, esta condición es tan esencial, que no es posible la vida de los seres sin que éstos absorban determinada intensidad de radiación calorífica.

Y como hemos demostrado que las radiaciones menos refrangibles, donde la vibración es lenta y la longitud de onda considerable, son las más calientes, como las plantas no reclaman en general rayos de refrangibilidad superior al rojo extremo, se infiere que podamos hacerlas prosperar con sólo suministrarles radiaciones infra-rojas.

Se consigue esto: 1.º, formando un espectro de prisma y separando la región luminosa por un diafragma opaco, para que la planta no reciba más que las radiaciones oscuras infra-rojas; 2.º, sirviéndose del sol ó de un manantial artificial, y deteniendo todas las radiaciones luminosas y ultra-violadas con una placa de cuarzo ó de sal gemma ennegrecida, ó con una disolución de yodo en el sulfuro de carbono.

La experiencia demuestra que, en estas condiciones, el efecto térmico se cumple satisfactoriamente; y si la planta se halla provista del alimento necesario, prospera del mismo modo que en la radiación total.

No todas las plantas, sin embargo, se comportan igualmente frente á estas radiaciones infra-rojas. Excepcionalmente hay células vegetales, como las esporas de los Helechos, propágulos y esporas de las Hepáticas, que rehusan germinar en aquellas condiciones y que no se desarrollan hasta tanto no reciban radiaciones luminosas, si bien las menos refrangibles y caloríficas.

He aquí por qué decíamos en un principio que la *radiación* (refiriéndonos á la calorífica) y el *alimento* son las dos condiciones necesarias al ejercicio de la vida de los seres.

**Mecanismo de la absorción calorífica.**—Se sabe que el agua absorbe enérgicamente las radiaciones poco refrangibles; y como la célula está constituida por un citoplasma y su membrana limitante, que gozan de la propiedad osmótico-acuosa, y además el jugo celular es agua que tiene en disolución ácidos vegetales (cítrico, málico, etc.) y otros cuerpos análogos que aumentan considerablemente este poder absorbente calorífico, resulta que las vibraciones menos refrangibles ó caloríficas, después de atravesar las capas celulares superficiales, se fijan en el cuerpo de la planta, elevando lentamente su temperatura.

**Acción equilateral.**—Siempre que la radiación calorífica actúe á la vez y por igual por todos los lados de la célula ó planta, ésta crece y continúa su crecimiento en la dirección de la



resultante de otras fuerzas (pesantez, luz, etc.) La acción que esta radiación produce sobre el crecimiento se denomina *termotactismo*.

**Intensidad térmica.**—Es el grado ó grados de calor que el termómetro acusa en cualquier estado del proceso vital, tanto en la planta como principalmente en el medio que le rodea, y con el cual aquélla establece su equilibrio térmico.

Y como la temperatura del medio exterior está sujeta á tantas variaciones según el clima de la localidad, observando y anotando escrupulosamente los grados termométricos que favorecen ó paralizan la vida ú ocasionan la muerte de la especie vegetal, se obtienen cinco temperaturas críticas que constituyen la *serie térmica*. No hay para qué decir que el conocimiento de esta serie térmica para cada especie es de tangible utilidad de parte del hortícola, pues sólo así se comprende pueda proporcionar al sér las condiciones de medio más favorables á su mayor lozanía, y obtener de este modo y en grande escala los mejores productos.

Pero estas cinco intensidades térmicas, no sólo varían con la naturaleza específica del vegetal, sino que en una misma planta, también se diferencian con la naturaleza del fenómeno particular que en ella se estudie. Así sucede, por ejemplo, que no tienen el mismo valor las temperaturas que determinan la distinta velocidad del movimiento protoplásmico en las células de un vegetal, que las correspondientes á la velocidad del crecimiento del mismo, por la sencilla razón de que entre todas las variaciones del medio exterior, únicamente la temperatura es la más sensible al protoplasma celular.

Para demostrarlo, basta medir en una planta dada, en su período de vida activa, la velocidad del movimiento protoplásmico á diferentes temperaturas. Dos casos pueden ocurrir: 1.º, que la temperatura se eleve y descienda lenta y gradualmente; y 2.º, que, por el contrario, disminuya ó aumente bruscamente.

*Primer caso.*—Si observamos el movimiento ciliar del *Chlamydococcus pluvialis*, veremos que comienza á manifestarse con la intensidad térmica de 5º; se acelera después en relación con la temperatura, hasta conseguir el máximum de movimiento á los 20º, y después desciende rápidamente á medida que la temperatura aumenta, para cesar á los 43º. Estas tres

temperaturas fijadas son precisamente las intensidades límites entre las cuales se favorece el desarrollo del sér, y que reciben los nombres de *minimum*, *óptimum* y *máximum* respectivamente. Si al movimiento circular interior nos referimos, observaremos análogamente lo que sucede en los ejemplos que á continuación se expresan:

|  | <u>Minimum.</u> | <u>Optimum.</u> | <u>Máximum.</u> |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| <i>Nitella flexilis</i> .....                | 0°,5            | 37°             | 38° - 40°       |
| Pelos peciolares de la <i>Cucurbita</i> .... | 10°             | 30° - 40°       | 49°             |
| Id. estaminales de la <i>Tradescantia</i> .  | 11°             | 30° - 40°       | 50°             |

*Segundo caso.*—Fijándonos ahora en los efectos que produce la temperatura cuando brusca ó rápidamente desciende ó se eleva, dentro de los conocidos límites térmicos en que el movimiento protoplásmico está en acción, observaremos que á una paralización protoplásmica de momento, sucede algunos minutos después un movimiento lento, que aumenta hasta conseguir la velocidad que corresponde á la nueva temperatura. Así, por ejemplo, en un pelo del *Ecballium agreste*, enfriado rápidamente de 40° á 16°, se nota un veloz descenso en el movimiento protoplásmico que se anula al cabo de un minuto, comienza á manifestarse siete minutos después, y por fin, á los diez y ocho minutos recobra la velocidad correspondiente á los 16°. Si, por el contrario, el mismo pelo se calienta bruscamente de 16 á 40°, á los seis ú ocho minutos se detiene el movimiento, que no comienza hasta pasada media hora de acción, después aumenta paulatinamente, y á los pocos minutos más, consigue la rapidez que corresponde á tan elevada temperatura.

Ahora bien: para concluir tan interesantes fenómenos térmicos y deducir consecuencias generales, es conveniente continuemos la acción más allá y estudiemos los efectos que se producen en las células, exponiéndolas á temperaturas inferiores al *minimum* y superiores al *máximum*.

Para ello, consideremos separadamente los dos estados de vida activa y latente.

En el período de *vida activa* ó manifiesta, las células abundantes, provistas de jugo celular, pueden sufrir ciertas temperaturas extremas sin que por ello el protoplasma pierda la facultad de recobrar su movimiento y ejercer sus funciones.

Exponiendo en el aire á una temperatura de  $-8^{\circ}$  el protoplasma de los pelos estaminales de la *Tradescantia virginica*, se contrae aquél en varios pelotones esféricos completamente inmóviles (fig. 192), los cuales, al minuto de recibir la influencia de una temperatura de  $17^{\circ}$ , se hinchan y reúnen, adquiriendo el protoplasma su configuración y movilidad normales. Este mismo fenómeno se repite en las células del parénquima de las hojas persistentes bajo la influencia de los fríos del invierno, y frecuentemente después de una noche de helada, resultando un cambio de tinta que desaparece después de algunos días de una temperatura más elevada. Del mismo modo, si se expone durante veinticinco minutos y en aire húmedo, á la temperatura de  $50^{\circ}$ , pelos de la calabaza y del tomate, se produce el mismo efecto en el protoplasma, y á las cuatro horas de actuar la temperatura favorable de  $20^{\circ}$ , vuelve á reconstituirse la redcilla protoplásmica y á entrar en franco movimiento.

Pero si llegara el caso de extralimitarse estas intensidades térmicas soportables por las células, entonces los cambios realizados en el protoplasma son irreparables, sobreviniendo la muerte como consecuencia inmediata. Y son tan variables los límites de estas temperaturas extremadas en las

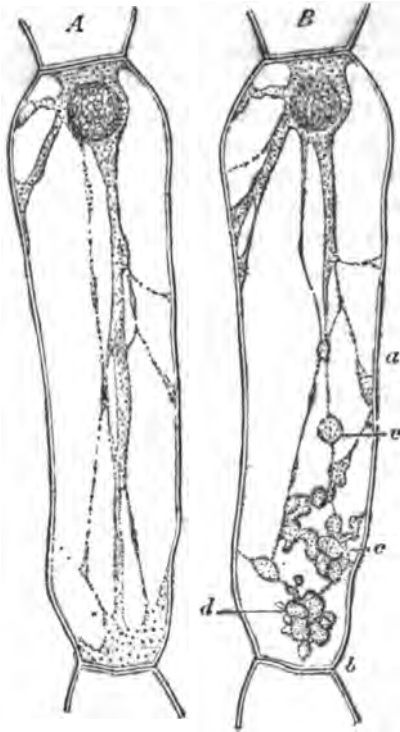


Fig. 192.—Células de *Tradescantia virginica*.—A, en estado normal; B bajo la acción de una temperatura elevada: el protoplasma se dispone en pequeñas esferas en a, b, c y d.

plantas, que mientras en algunas fanerógamas de los países meridionales el protoplasma pierde su vitalidad á 0°, en cambio los líquenes, hongos de dura consistencia, diatomeas, hepáticas, musgos y fanerógamas, resisten sin perecer temperaturas muy bajas. Por el contrario, una temperatura de 50° es suficiente de ordinario para matar al protoplasma, y, sin embargo, ciertas plantas inferiores soportan temperaturas mucho más elevadas: no hay más que ver cómo diversas Bacteriáceas (*Bacillus*, *Micrococcus*) crecen, se multiplican y reproducen próximamente á los 75°, siempre que el líquido nutritivo sea neutro. En general, las células pueden vivir en el aire á temperaturas más elevadas que en el agua; y en líquidos neutros ó ligeramente alcalinos, toleran temperaturas que serían de muerte en líquidos débilmente acidulados. Reconocemos además que la acción del calor es función del tiempo; toda célula que resiste durante un cuarto de hora la temperatura de 50°, pierde su vitalidad si continúa bajo esta acción otro tanto de tiempo.

Las plantas, además, se defienden naturalmente, si bien brevísimo plazo, de estos rigores térmicos extremados. No olvidemos que de la intensidad de radiaciones caloríficas absorbidas á diario y del medio exterior, no toda se gasta en el proceso celular; parte queda remanente y sin utilizar, con la que contrarresta en circunstancias especiales la baja temperatura del medio en que se halla, pudiendo continuar la vida el reducido tiempo que dura la provisión térmica. De aquí un error grande, y la creencia ó sospecha de que la planta vive á la temperatura del medio exterior.

En el estado de *vida latente*, las células más ó menos completamente desecadas resisten muchísimo más las temperaturas extremas. Las semillas secas, por ejemplo, sufren impunemente por espacio de dos horas temperaturas de — 80°. Si conservan agua, como las semillas del Arce, pierden sus condiciones germinativas á temperaturas menos bajas, que en el caso que nos ocupa ocurre á los — 20°. Por otra parte, las semillas (trigo, guisante) resisten la temperatura de 70° sin perder sus facultades germinativas, y, en cambio, en el curso germinativo mueren á la temperatura de 50°.

Otros muchísimos ejemplos pudiéramos citar de esporas, bacterias y otros gérmenes en estado latente que sufren tem-

peraturas muy altas sin perder sus condiciones de vitalidad. De aquí nace el fundamento de la esterilización, que si ha de efectuarse por el calor, es preciso que los recipientes llamados *autoclavos* sostengan temperaturas elevadísimas de 100 y más grados.

De todo lo cual se deduce que en la vida de los seres hemos de considerar cinco temperaturas críticas, dos de muerte y tres de vida.

Si sobre las temperaturas tomadas como abscisas (fig. 193), se levantan ordena-

das proporcionales al crecimiento ó movimiento protoplásmico, se obtiene una curva que es variable según las plantas, y en la

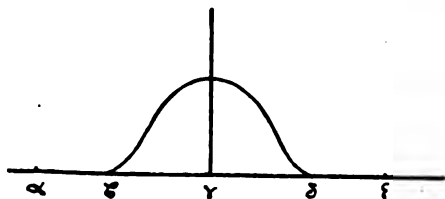


Fig. 193.—Curva explicativa de los fenómenos vitales en función de la temperatura.— $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ , temperaturas críticas;  $\gamma$ , óptimum de temperatura.

cual  $\alpha$  y  $\epsilon$  representan temperaturas mortales para las plantas, y que po-

demus denominar respectivamente *inframinimum* y *ultramáximo*, y tres,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$ , que corresponden al *minimum*, *óptimum* y *máximo* de calor, ó sea al comienzo, máxima lozanía y fin de la *vida activa*. Las porciones  $\alpha\beta$  y  $\delta\epsilon$  determinan la *vida latente*.

Dejando á un lado la mucha desigualdad en la forma de las curvas y la diversa separación de las distancias en las temperaturas según las especies, se puede decir que de un modo general las cinco temperaturas críticas oscilan entre los siguientes términos:

$$\begin{array}{cccccc} \alpha & \beta & \gamma & \delta & \epsilon \\ - 25^{\circ} \text{ á } 0^{\circ} & 0^{\circ} \text{ á } 15^{\circ} \text{ y } 23^{\circ} & 21^{\circ} \text{ á } 38^{\circ} & 28^{\circ} \text{ á } 60^{\circ} & 50^{\circ} \text{ á } 110^{\circ} \end{array}$$

y más general todavía refiriéndonos á la vida activa

$$\beta = 10^{\circ} \quad \gamma = 25^{\circ} \quad \delta = 50^{\circ}$$

**Hielo y deshielo de la célula.**—En realidad las células no se hielan, pues el proceso de congelación tiene lugar únicamente

en la periferia celular externa y nunca en el interior, y es condición precisa para que el fenómeno se realice, dejando á un lado la temperatura más ó menos baja, que las células estén abundantemente provistas de agua en sus partes constitutivas y principalmente en el jugo celular (líquenes, musgos). La congelación se produce de la siguiente manera:

La delicadísima capa de agua que envuelve á la membrana celular, se congela, formando la primera cubierta de hielo, constituida por tablas exagonales que se unen lateralmente. Acto seguido, nueva y muy delgada capa de agua procedente del interior de la célula, atraviesa la membrana depositándose en su superficie, la que á su vez se congela espesando hacia la base la capa de hielo anterior, que paulatinamente transforma sus tablas en prismas. Y como la membrana absorbe incesantemente por su cara interna nuevas cantidades de agua que elimina del protoplasma, núcleo y jugo celular, y con las cuales reemplaza á cada paso la solidificada en su cara externa, resulta que el fenómeno de congelación prosigue mientras haya agua en las partes constitutivas de la célula, dando origen á una costra de hielo cada vez más espesa y friable y formada de prismas soldados unos con otros.

A la par que se forma esta costra de hielo á expensas del agua emanada del interior de la célula, se observa que el jugo celular se concentra cada vez más; y como al mismo tiempo la proporción de agua de imbibición disminuye progresivamente en la membrana, protoplasma y núcleo, la célula llega á un estado de contracción completo.

Si las células constituyen tejidos, entonces los cristales de hielo se forman en las caras libres que confinan con los meatus ó lagunas; y tales son los volúmenes de las costras congeladas, que frecuentemente ocasionan la dislocación del conjunto celular, y á veces la distensión de la capa periférica de los órganos, hasta el extremo de originarse roturas por donde salen los cristales de hielo bajo la forma de láminas onduladas.

La congelación no lleva consigo al parecer la muerte de la célula, pues las *Naviculas* se hielan entre  $-12^{\circ},5$  y  $-25^{\circ}$ , y después del deshielo continúan viviendo. Todo depende, según observaciones repetidas, de cómo el deshielo tiene lugar: si es lento, la célula adquiere paulatinamente sus propiedades; si rápido, muere.

En efecto: si los prismas de hielo se funden lentamente por su base, el agua producida es absorbida por la membrana celular; y por una marcha inversa, la membrana, protoplasma, núcleo y jugo celular, se reintegran poco á poco del agua que habían perdido y adquieren gradualmente los caracteres y propiedades que antes tenían. Pero si, por el contrario, la costra de hielo se funde rápidamente, parte del agua se escurre hacia afuera por las roturas, parte se estaciona en las lagunas, macerando el tejido antes de ser absorbida por las células, y el resultado final es que éstas no hallan posibilidad de recobrar lo perdido. De aquí el por qué es tanto mayor la destrucción de los tejidos y de los órganos por un brusco deshielo, cuanto más agua encierren las células que entran á constituirlos.

Finalmente, las roturas y dislocaciones que la congelación determina en los tejidos, tienen escasa importancia y no perjudican la vida del órgano después del deshielo moderado. Se prueba este hecho congelando con regularidad el peciolo de la alcachofa (*Cynara Scolymus*) (fig. 194), que, después de haber sido deshelado lentamente, continúa viviendo.

**Acción inequilateral.**—Hasta ahora hemos supuesto que la radiación térmica actúa á la vez y por igual sobre todos los lados de la célula favoreciendo su crecimiento. Y conviene, para terminar, marquemos brevemente qué efectos produce una radiación unilateral.

En este caso, si la célula es libre, toma diversas posiciones para conservar el isotropismo y gozar de la influencia bienhechora de una radiación equilateral.

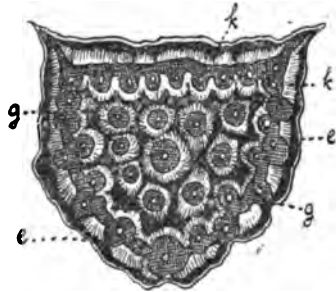


Fig. 194.—Sección transversal de un peciolo de alcachofa (*Cynara Scolymus*) lentamente congelado —e, epidermis destacada; p, parénquima en el cual se manifiestan en blanco las secciones de los nervios. Dicho parénquima se rompe y desgarran regularmente durante la congelación, y la superficie libre de cada uno de los fragmentos se cubre de una costra de hielo k, formada de prismas perpendiculares íntimamente unidos. Los espacios huecos se representan negros en la figura (según Sachs).

Pero si la célula está asociada con otras formando tejidos en vía de crecimiento, y el manantial térmico está colocado de modo que la planta recibe más calor de un lado que de otro, el crecimiento es desigual y se encorva la planta. Así, si la planta recibe la radiación con su óptimum de intensidad por un lado, y del opuesto absorbe una cantidad de calor más elevada ó más débil que aquélla, favorecido el crecimiento con el óptimum y retrasado bajo la influencia de cualquiera de las otras dos temperaturas, se provoca una curva convexa del lado del óptimum, cóncava del lado opuesto, es decir, se flexiona la planta huyendo del óptimum. Si las dos temperaturas diferentes son superiores ó inferiores al óptimum, el cuerpo de la planta se dirige hacia la temperatura más alta en el primer caso, ó hacia la más baja en el segundo, y siempre en la dirección del punto donde el calor esté más lejano del óptimum.

Se llama *termotropismo* la propiedad de encorvarse las plantas bajo la influencia de una radiación térmica unilateral, y curvas *termotrópicas* las flexiones originadas por estas diferencias de temperatura. Dicho termotropismo se denomina *positivo* (tallo) ó *negativo* (raíz), según que la planta se dirija hacia el manantial térmico ó en sentido contrario.

Para conseguir buenas flexiones, es necesario actúen con fijeza y estén bien definidas las temperaturas sobre los dos lados de la planta, y, sobre todo, es imprescindible eliminar con un aparato de rotación la resistencia opuesta por el geotropismo, que tiende á mantener la planta en el sentido vertical.

## II.—Acción luminosa.

La radiación simplemente luminosa, lo mismo que la ultravioletada y que la radiación total, una vez asimilada por las células, ejerce sobre ellas acción mecánica distinta, según que las células estén *en vías de crecimiento* ó hayan *cesado de crecer*, y modificando el crecimiento en el primer caso ó produciendo movimientos en el segundo.

*Primer caso.*—**Células en vías de crecimiento.**—Para estudiar la influencia mecánica de la radiación sobre el crecimiento celular, es preciso emplear dos procedimientos: 1.º Exponer la



planta á una radiación equilateral y comparar su crecimiento con el que ocasiona la obscuridad. 2.º Someterla después á una radiación inequilateral y observar las curvas que se producen.

**Acción equilateral.**—El crecimiento en longitud de un cuerpo multicelular, comprende dos períodos igualmente favorecidos por las radiaciones infra-rojas ó térmicas, que son: formación de células nuevas por la segmentación de las antiguas, y después alargamiento de las recientemente formadas.

Si comparamos el efecto que produce el óptimum de radiación, ó sea la luz de mediana intensidad, con el de la obscuridad, en el primer período de los indicados, veremos que no sufre variación alguna, es decir, que la luz no influye para nada en la formación de células nuevas. En cambio, hecha la comparación en el segundo período, se observa que el alargamiento de las células ya formadas, es más considerable en la obscuridad que en la claridad. De aquí nace el principio fisiológico «todas y cada una de las radiaciones, fuera de las infra-rojas, retrasan y disminuyen el crecimiento vegetal,» que explica satisfactoriamente lo que todo el mundo sabe, ó sea que de noche crecen más las plantas que de día.

Esta acción retardatriz, muy diversa según la intensidad de la radiación luminosa, llega á su maximum con una intensidad media, variable según las especies, y el retraso es menor para radiaciones luminosas más débiles ó más fuertes. Véase á continuación, en milímetros, el crecimiento en doce horas de dos plantas colocadas á distancias crecientes *A, B, C, D*, á partir del manantial luminoso:

|   | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> |
|---|----------|----------|----------|----------|
| Mastuerzo hortense ( <i>Lepidium sativum</i> )... | 4,8      | 4,5      | 5,1      | 7,2      |
| Girasol ( <i>Helianthus annuus</i> ).....         | 4,6      | 3,9      | 4,2      | 6,8      |

Es de una utilidad tan grande para la planta la acción retardatriz que la luz ocasiona en el crecimiento, que si comparamos dos tallos de la misma especie y edad desarrollados á expensas de la misma cantidad de reservas y condiciones de medio, el uno colocado en la radiación total, y el otro en la obscuridad, observamos que el primero es corto, espeso y bien derecho, mientras que el segundo es largo, delgado y caído.

Esta solidez, igual en todos sentidos, es ventajósísima y necesaria á todos los desarrollos ulteriores de la planta, y de

aquí nace el resultado útil de la radiación luminosa. Por el contrario, si el crecimiento es rápido y la acción retardatriz débil (como sucede en la vid, corregüela), ó nula (como en la cúscuta, etc.), no pudiendo sostenerse los delicados tallos, se adhieren á soportes extraños (plantas trepadoras) ó se enroscan alrededor de ellos (plantas volubles).

**Acción inequilateral.**—Si la radiación total cae sobre las células en crecimiento de un solo lado, la acción retardatriz de éste, comparada con la del extremo opuesto, es desigual, y se origina una curva que se dirige hacia el manantial luminoso, ó en sentido contrario, según la resultante de la diferencia de intensidad.

Si, como sucede generalmente, la radiación incidente llega al óptimum de intensidad ó es menor, la cara iluminada se alarga menos que la opuesta, y el cuerpo celular se encorva hacia el manantial luminoso. Si la cara opuesta es menos retardada en su crecimiento, la flexión tiene lugar hacia el foco luminoso; si las dos caras sufren retrasos iguales, no hay curvatura; y por último, si dicha cara opuesta á la radiación es más retrasada, la flexión tiene lugar en sentido inverso.

Para producir una fuerte curvatura en un sentido ó en otro, es suficiente ligeras diferencias de intensidad luminosa sobre las dos caras opuestas. Así, por ejemplo, un tubo esporangífero de *Mucor* y un pelo absorbente de *Marchantia*, que están formados de largas células y transparentes, se flexionan fuertemente, el primero hacia la luz, el segundo en sentido contrario.

Y si llamamos *fototropismo* ó impropriamente *heliotropismo* la facultad que tienen los cuerpos en vías de crecimiento á doblarse bajo la influencia de una radiación unilateral, y curvas *fototrópicas* las flexiones así provocadas, diremos que es *positivo* el fototropismo del tubo esporangífero del *Mucor* por dirigirse hacia el punto luminoso, y *negativo* el del pelo de la *Marchantia* por orientarse en sentido contrario.

Hemos dicho anteriormente que la radiación total influía en el retraso del crecimiento de las células en vías de desarrollo; y en efecto, fuera de los rayos amarillos (1) sin acción sensible,

(1) Estos rayos amarillos son, en cambio, de un potencial térmico considerable (en el espectro de parrilla ó de rejilla), y además contribuyen poderosamente, casi sólo ellos, á la formación de la clorofila.

todos los demás, á partir del verde por un lado, y del amarán-  
jado por el otro, tienen influencia en más ó en menos para pro-  
ducir flexiones ó curvas fototrópicas, hasta el punto de que  
más allá de la región ultra-violada, allí donde ni las sales de  
plata ni las substancias fluorescentes son sensibles, existen, sin  
embargo, un grupo de rayos muy refrangibles que también  
originan flexiones sobre las plantas, por cuya razón, aten-  
diendo á este efecto, se les ha dado el nombre de *rayos ve-  
getales*.

El fototropismo es de gran utilidad en el desarrollo de la  
planta. Así, cuando una planta vertical está expuesta á una  
radiación lateral, su heliotropismo contribuye á que el cuerpo  
continúe en línea recta la dirección del rayo incidente. Pero  
fijémonos que precisamente en esta dirección el cuerpo reci-  
be la menor cantidad de radiación incidente, y, por conse-  
cuencia, el retraso en el crecimiento es tanto menor, resul-  
tando entonces que el heliotropismo favorece todo lo posible  
al crecimiento. Y como precisamente los rayos más activos  
para el fototropismo son los que por su naturaleza é intensi-  
dad retrasan más activamente el crecimiento, nos hallamos  
con una regulación de la radiación por la radiación, es decir,  
una regulación automática que tienda á favorecer el crecimen-  
to de la planta.

La repetida frase «las plantas buscan la luz,» y que más pro-  
pio sería decir «las plantas se dirigen contra la luz,» para fa-  
vorecer el crecimiento, tiene su explicación en el *fototropis-  
mo*, pues gracias á las diferentes posiciones que toman en re-  
lación con la luz incidente, los vegetales reciben la menor  
cantidad de radiaciones, y, por tanto, el retraso que la luz pro-  
duce en el crecimiento, disminuye considerablemente.

El geotropismo y el fototropismo actúan inversamente. El  
tallo negativamente geotrópico, es positivamente fototrópico;  
la raíz negativamente fototrópica, es positivamente geotrópi-  
ca; y aun cuando la energía de las acciones es diferente, siem-  
pre llevan un fin común, cual es disponer la planta en sentido  
vertical en relación con el suelo, para que la raíz por un lado,  
y el tallo por otro, absorban á la vez, y del medio en que se  
encuentran, los materiales necesarios á su más cumplido desa-  
rrollo.

Finalmente, si por circunstancias especiales hubiera otras

causas que, enmascaradas por la pesantez y radiación, ocasionaran flexiones en las plantas y quisiéramos determinarlas, recurriríamos á un aparato llamado *clinostato*, que tiene por objeto sustraer á las plantas de la poderosa influencia de la pesantez y radiación, neutralizando sus efectos flexores. Consiste en un disco cuyo eje de rotación horizontal se halla colocado paralelamente al orificio por donde viene la luz: si gira con lentitud empleando en cada vuelta veinte minutos, la pesantez y radiación se ejercen igual y sucesivamente sobre todos los lados de la planta, y no produciéndose flexión alguna, la planta continúa creciendo en la dirección en que ha sido colocada, de no haber otra causa que produzca curvatura, alguna.

**Segundo caso.—Células en completo desarrollo.**—Si las células han terminado su desarrollo ó *cesado de crecer*, la radiación unilateral produce sus efectos dando lugar á movimientos, en virtud de los cuales las células adquieren posiciones adecuadas para recibir uniformemente la influencia de los agentes y conservar de este modo el isotropismo propio y necesario al más perfecto desenvolvimiento funcional.

Estos movimientos son distintos según que la radiación luminosa sea débil ó intensa, y actúe sobre células libres ó fijas.

La influencia de toda *radiación unilateral débil sobre las células libres y móviles*, se traduce por una orientación determinada del cuerpo siguiendo la dirección del rayo incidente, seguida de un desplazamiento hacia el punto luminoso ó en sentido contrario.

En efecto: observemos lo que sucede en el género *Closterium* (alga fusiforme de la familia de las Desmidiáceas). Si colocamos dicha alga en una cubeta de vidrio y se proyecta con un espejo un rayo de luz que incida sobre una de las caras laterales de la cubeta, notaremos que, apoyando la closteria una de sus extremidades en el fondo del recipiente, orienta su eje en la dirección del foco luminoso, y tantas cuantas veces se varíe éste en sentido lateral, otras tantas cambia el alga su orientación, siempre alrededor de su extremidad posterior, y después de uno ó dos minutos de exposición. Si la luz incide sobre la cara inferior de la cubeta, gira entonces la célula, colocando en el fondo su extremo libre y disponiendo el otro en alto, de tal modo que su orientación sea la misma que la del rayo lu-

minoso incidente. Por fin, si bruscamente se hace llegar la luz en la misma dirección, pero en sentido opuesto, la célula gira  $180^\circ$  alrededor de su punta fija si el cambio luminoso es lateral, y los mismos  $180^\circ$ , cambiando de extremidad, si es vertical.

No se crea por esto que las dos extremidades de la closteria sean polares, es decir, que una sea siempre atraída y la otra repelida por la luz, ni tampoco que el fenómeno se deba á la distinta edad de ambos extremos; pues dejando en ambos casos que la luz actúe más tiempo, de seis á ocho minutos si la temperatura es de  $33^\circ$ , y más todavía si la temperatura es más baja, el alga cambia por sí las extremidades para recibir ambas con igualdad los efectos de la radiación luminosa. De este modo la closteria, si la luz incidente es lateral, ejecuta una serie de cambios polares, cuyos puntos de apoyo siguen hacia el punto luminoso describiendo la célula en sus diferentes posiciones una línea quebrada; y si la luz incidente es vertical, los saltos polares continúan sin cambiar de posición ni siquiera un milímetro el punto de apoyo.

Hay, pues, en la closteria orientación longitudinal de la célula, polaridad invertible de sus dos mitades y deslizamiento hacia el punto luminoso.

En otras Desmidiáceas, como el género *Penium*, se observa que la polaridad es invariable, pues presenta constantemente su mitad joven hacia la luz, y se orienta siempre en dirección de ésta; y en la célula aplastada de la *Micrasterias Rota*, se nota, por el contrario, que se orienta y se coloca perpendicularmente al rayo incidente.

También ciertas zoosporas provistas de clorofila (*Ulothrix*, *Ulva*), ó incoloras (*Chytridium*), se orientan colocando sus ejes en la dirección del rayo incidente; pero como cambian de sentido periódicamente, girando sus extremidades ciliadas, resulta que unas veces se dirigen hacia el foco luminoso y otras en sentido contrario.

En resumen: las células libres y móviles, son frecuentemente sensibles á la acción de una radiación unilateral. Y si llamamos *fototactismo* la propiedad que las células tienen de orientarse y cambiar de posición y de lugar bajo la influencia de la luz, se dirá que en general las plantas unicelulares son *fototácticas*.

La influencia de toda *radiación unilateral débil sobre el protoplasma de las células fijas*, es en alto grado interesante desde el punto de vista fisiológico.

Si nos fijamos en el género *Mesocarpus*, alga verde de la familia de las Conjugáceas y formada de una fila de células superpuestas, cada una de las cuales posee una lámina de protoplasma impregnada de clorofila y dispuesta á lo largo del eje, ó sea de extremo á extremo, observaremos: que si se ilumina esta lámina en una dirección perpendicular á su longitud, gira sobre sí misma si estaba de costado, para presentarse siempre de frente ó en un plano perpendicular al rayo incidente. Si en estas condiciones giramos súbitamente 180° la dirección de la luz, no se nota cambio alguno en dicha lámina protoplásmica.

Las plantas formadas de una célula ó de una fila de células, y en donde la clorofila está concentrada en corpúsculos separados como en la *Vaucheria*, los cuerpos clorofilicos se reparten sobre las caras iluminadas y opuestas, abandonando las laterales. Casos hay, sin embargo, como las células de la *Nitella*, que son insensibles á la luz, y, por consiguiente, los cloroplastos ó cuerpos clorofilicos no sufren variación alguna.

En las plantas cuyos órganos estén constituidos por una lámina de células (hojas de los musgos *Funaria*), ó un macizo de células (hojas de las Fanerógamas), sucede análogamente que si la radiación cae normalmente sobre estos órganos, los cloroplastos se colocan del lado donde viene la luz, ó sea sobre las caras superior é inferior de las células; y si la radiación se inclina hasta llegar á ser horizontal, los cloroplastos se agrupan en las caras laterales. Estas dos posiciones, según dijimos en la pág. 110 (véase fig. 84), reciben los nombres respectivamente de *epistrópica* y *apostrópica*, y como corresponden precisamente á la presencia y ausencia de luz durante el día, se denomina la primera *posición diurna*, y la segunda *posición nocturna*.

No hay para qué advertir que en todos estos ejemplos, y en otros semejantes, los cloroplastos son pasivamente conducidos por el protoplasma, y que al *fototactismo* y correspondiente posición de éste, se debe la agrupación ó colocación de aquéllos, para utilizar lo mejor posible la radiación luminosa y ejecutar la función que les está encomendada.

Ahora bien: si en lugar de operar con luz difusa, como hasta

aquí, empleamos una radiación fuertemente intensa, radicales cambios se advierten en los distintos casos observados anteriormente para defenderse y colocarse al abrigo de su efecto destructor.

Así, por ejemplo, las células libres y móviles, como la *Closteria* y *Pleurotænium* (Desmidiáceas), se colocan perpendicularmente al rayo incidente, y conservando esta orientación giran alrededor de su extremidad posterior fija, deslizándose y alejándose lentamente el punto de apoyo del manantial luminoso, hasta situarse en la pared opuesta del vaso. Del mismo modo huyen de la luz directa del sol las *Oscilarias* y los plasmodios de los *Mixomicetos*.

Si al protoplasma de las células fijas nos referimos, el fenómeno se realiza de una manera análoga. En efecto: la lámina citoplásmica y clorofílica del *Mesocarpus* gira 90° sobre sí misma y se presenta de perfil ó de corte hacia la luz. Y finalmente, los cuerpos clorofílicos de la *Vaucheria*, y en general de todas las células, bajo la influencia de una luz intensa, se separan de las caras superior é inferior y se acumulan en las paredes laterales.

En suma: el protoplasma celular, á consecuencia de su fototactismo, toma posiciones favorables á su funcionamiento, subordinadas siempre á las radiaciones débiles ó intensas. Entre estas dos intensidades extremas, existe probablemente una intensidad media que no produce efecto alguno sobre el protoplasma, y el cuerpo permanece indiferente á la orientación es decir, sin aproximarse ni alejarse del manantial. Esta intensidad varía mucho en las distintas plantas, del mismo modo que varía el fototactismo con la naturaleza y la edad de la región del cuerpo que se considere.

**Advertencia.**—Debiendo conocerse los nombres que la ciencia admite para denominar las acciones generales que la pesantez y radiación combinadas producen sobre las plantas, indicaremos brevemente lo expuesto en este sentido por Van Tieghem.

**Isotropía, anisotropía.**—Cuando todas las partes de una planta obedecen por igual y del mismo modo á la influencia de la pesantez y radiación, los vegetales reciben el nombre de *isotropos* (Bacterias, *Oscilarias*, etc.); mas si responden diferentemente á dichas fuerzas y adquieren bajo su acción direcciones distintas, se denominan *anisotropos* (plantas vasculares).

La *anisotropía* tiene por manifestaciones extremas la *ortotropía* y *plagiotropía*. Una parte de la planta se dice *ortotropa* siempre que en las condiciones ordinarias se dirija ó disponga verticalmente (raíz y tallo generalmente), y *plagiotropa* cuando los órganos ó manifestaciones orgánicas toman en sus desarrollos respectivos posiciones horizontales (hojas, rizomas, sarmientos, etc.)

### Efecto químico.

Conocidas ya las excitaciones y efectos mecánicos que el calor y luz absorbidos por los protoplasmas ocasionan en las células vegetales, y recordando por Física y Química que cualquiera de ambos agentes (incluso la electricidad) favorecen muchas composiciones y descomposiciones de materias, es de suponer, lógicamente pensando, que el conjunto de las distintas refrangibilidades térmica, luminosa y química del espectro, representen *en parte* el manantial energético que, transformado en trabajo químico, contribuya al desenvolvimiento de los múltiples, complejos y desconocidos procesos biológicos, ó sea á la síntesis de las substancias que se elaboran en la retorta celular, y al mismo tiempo á las alteraciones atómicas y descomposiciones de los materiales que integran tan elementales organismos. Y decimos que la influencia de la radiación en el metabolismo celular es *parcial*, porque á dicha fuerza ha de sumarse indefectiblemente, no sólo la energía acumulada en los alimentos ingeridos y la portentosa acción de los fermentos, sino también la *fuerza vital y congénita* del protoplasma.

Por esto conviene que distingamos con perfecta claridad que estas alteraciones tan continuadas en las células y que caracterizan la *vida* de las mismas, consisten en destrucciones seguidas de reconstrucciones, que conservan en cierto modo el protoplasma *in statu quo*, á diferencia de los protoplasmas muertos y de todas las substancias fuera de los organismos, que, á pesar de estar rodeadas de las mismas condiciones de vida (radiación y alimento), sólo en ellas observamos descomposiciones siempre totales y rápidas ó lentas, á no hallarse enterradas, pues en este caso la energía potencial acumulada en los vegetales se conserva siglos y siglos, originando esos inmensos depósitos que, con el nombre de carbones naturales,



el hombre explota allí donde los descubre para los fines que todos conocemos.

De lo dicho se infiere que el efecto químico de la radiación sobre las plantas, es de los más sorprendentes que registra la ciencia en la vida de la célula; y como el afán del hombre por desentrañar las maravillas de la naturaleza no tiene límites, y con su constancia ha rasgado el velo de algunos misterios de la creación universal, penetra resueltamente en los abismos más profundos y soluciona al fin las cuestiones más delicadas, como son, en el caso que nos ocupa, los fenómenos que se operan al amparo de la radiación, tanto en las células no verdes como verdes.

En las células desprovistas de clorofila, así como en las porciones incoloras de las células verdes, la radiación absorbida se reduce simplemente á los efectos térmico y mecánico; pero esta sola energía sería impotente en el protoplasma para formar las sustancias albuminoides, si no fuera acompañada *a fortiori*, y para completar la acción, de los hidratos de carbono como alimento. Sólo así se comprende que para la vida de estos seres aclorofílicos, sea necesario é imprescindible, bien nutrirse de sustancias en descomposición bajo la forma de combinaciones orgánicas que abrevian mucho el trabajo sintético de la célula (*plantas saprofitas*), ora suministrarse directamente de los hidratos de carbono elaborados por las plantas verdes (*plantas parásitas*), ya asociarse en utilitario consorcio, recibiendo así mutuos beneficios (*simbiosis*) las células verdes con las no verdes (líquenes, etc.)

En las células verdes, á los dos efectos anteriores que absorben las no verdes, hay que añadir el propio de la clorofila, pues sabido es que este pigmento tiene una importancia inmensa bajo el punto de vista fisiológico desde el momento en que facilita la síntesis orgánica y favorece, por consiguiente, el libre desarrollo del sér.

Este efecto químico de la radiación es doble y comprende dos fenómenos distintos y sucesivos. El primero, de naturaleza compleja y desconocida, consiste en la síntesis de la clorofila en el seno del citoplasma. El segundo, más sencillo y en cierto modo más conocido, que consiste en descomponer el anhídrido carbónico á expensas del pigmento verde, y asimilar el carbono para formar los hidratos de carbono.

Según esto, las plantas verdes se presentan á nuestro examen como mecanismos reductores y sintéticos, á pesar de ser, como los animales, máquinas destructoras de materia orgánica. De modo que no el organismo vegetal, sino la clorofila en él contenida, es la causa del obscurecimiento en las destrucciones propias al trabajo vital, y de que los seres vivos y verdes aparezcan compensando la degradación de la materia orgánica que se manifiesta ostensiblemente en la vida animal, y he aquí la razón fundamental para decir, al exponer las diferencias entre animales y vegetales (véase pág. 15), que los vegetales verdes transforman las fuerzas vivas en fuerzas de tensión, almacenando en muchos casos extraordinarias cantidades de carbono.

De esta energía potencial se sirve el hombre en la combustión, y de dicho almacén alimenticio se sirven las plantas verdes cuando viven natural ó artificialmente en la obscuridad; entonces gastan y no ganan, resultando así que tallos cortos, espesos y derechos en la luz, se conviertan en largos, delgados y caídos en la obscuridad. Recuérdese, á propósito del caso presente, lo que acerca del mismo punto se dijo al hablar de la utilidad que la luz reporta á la planta, á pesar de su acción retardatriz sobre el crecimiento (véase págs. 289 á 292).

Ahora bien: como este doble efecto químico de la radiación ha sido tratado anteriormente con el debido detalle para darnos cuenta de la formación del almidón, y se ha expuesto con toda claridad las condiciones necesarias para la formación del pigmento verde (véase pág. 114), la propiedad de absorber la clorofila determinadas radiaciones (véase pág. 116), y el empleo de dichas radiaciones (págs. 117 á 121), que, como manantial de energía transformado en trabajo químico, contribuye á la asimilación del carbono y á la síntesis de los hidratos de carbono, á su lectura nos remitimos en este momento, por no repetir lo dicho entonces, con lo cual terminamos, no sólo este punto concreto, sino todo lo que nos proponíamos relatar respecto á lo que es en sí la radiación y los efectos que ésta produce sobre las células vegetales.

## CAPITULO II

CONDICIONES NECESARIAS PARA LA VIDA DE LA CÉLULA  
 (CONTINUACIÓN) — DEL ALIMENTO: FORMA ASIMILABLE DE SUS  
 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS; CANTIDAD ÚTIL  
 ANESTÉSICOS, VENENOS

**Alimento.**—Con este nombre se entiende el conjunto de cuerpos ponderables, simples ó compuestos, que la planta debe hallar reunidos en el medio que le rodea, por serle indispensables á la constitución de su masa viva.

Como medios conducentes á la determinación de los cuerpos simples constitutivos del edificio celular, y con las reservas que lleva consigo toda clase de análisis, fueron indicados, sirviendo de base la constitución química de todo vegetal (véase pág. 26), los procedimientos analítico y sintético más sencillos, para deducir aproximadamente los materiales que integran el alimento completo de todo vegetal, viniendo á resultar que este factor indispensable para el ejercicio de la vida de los seres, comprende esencialmente los trece elementos siguientes: carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, azufre, fósforo, cloro, potasio, calcio, magnesio, hierro, silicio y manganeso.

Pero como no basta que conozcamos los cuerpos simples que integran la composición de la célula vegetal, y, por tanto, del alimento que debe proporcionarse, sino que es necesario averiguar el modo en que deben hallarse los elementos simples para ser absorbidos por los organismos, bien procedan del medio exterior, ya se encuentren en el interior de las células, estamos obligados á estudiar detenidamente la forma asimilable de cada uno de ellos, con lo cual habremos dado un nuevo paso en el camino de la investigación, si hemos de llegar, aun cuando difícil sea, al cercano, ya que no completo, conocimiento de la vida vegetal en todas sus manifestaciones.

**Forma asimilable de los elementos del medio externo.**—Siendo impotente el método analítico para resolver esta cuestión, acudiremos al sintético que, á la par que descubre la naturaleza

misma de los elementos, nos enseña la *forma asimilable* en que cada uno de ellos penetra en el cuerpo de la planta para formar parte de su composición.

**Carbono.**—Este elemento es absorbido por las plantas ó células *no verdes* bajo diferentes combinaciones. Son generalmente preferibles la glucosa y el ácido tártrico; pero también la célula puede tomar su carbono de los compuestos siguientes: manita, tanino, ácidos cítrico y málico, glicerina, alcohol, ácido acético y á veces el oxálico, á pesar de ser este último un cuerpo nocivo para la vida vegetal. El anhídrido carbónico y el óxido de carbono no son compuestos adecuados para suministrar el carbono á las plantas no verdes.

Si la planta ó célula vegetal se halla provista de clorofila, no sólo sirven de alimento y están en forma aprovechable los compuestos carbonados que acabamos de enumerar, sino que principalmente la fuente más abundante del carbono es el anhídrido carbónico de la atmósfera, previamente descompuesto bajo la influencia combinada de la clorofila con las radiaciones solares por ésta absorbidas.

**Oxígeno.**—Este cuerpo es asimilado de distintos modos. Como gas libre, se hace necesaria su presencia en la vida normal de la mayor parte de las plantas en condiciones de asimilar: de aquí que las células ó plantas que viven en estas condiciones, con la proporción de este gas que reina en la atmósfera, son denominadas *aerobias*. Otros organismos correspondientes en su mayor parte á la familia de las Bacteriáceas, no pueden vivir en contacto del oxígeno libre en la cantidad que existe en la atmósfera, y se han llamado *anaerobios*. Sirva de ejemplo el *Bacillus amylobacter*, que en ausencia del oxígeno del aire y con la débil proporción de un 2 por 100 de dicho gas, descompone las substancias ternarias más diversas: sacarosa, glucosa, manita, dextrina, glicerina, etc., produciendo hidrógeno, anhídrido carbónico y ácido butírico: de aquí el nombre de *fermento butírico*. Otros seres unicelulares, finalmente, son denominados *facultativos* (*Saccharomyces cerevisiæ*, *Mucor racemosus*), porque según las condiciones de medio, unas veces viven en ausencia del oxígeno (vida anaerobia), y otras en presencia de dicho gas (vida aerobia), provocando en el primer caso una descomposición particular en la glucosa que le sirve de alimento y originando la fermentación alcohó-

lica, y en el segundo, en vez de quedar muertos en el fondo de la masa fermentescible, suben á la superficie de ésta, se tabican por gemación y forman en ella pequeñas manchas que se extienden y confunden, originando una delgada capa gris á la que Pasteur dió el nombre de *velo*. Estas dos vidas tan diferentes y que corresponden respectivamente á las levaduras *baja* y *alta*, parece comprobarse hoy pertenecen á dos especies distintas (*S. cerevisiæ* y *S. apiculata*).

El oxígeno es también asimilado al estado de combinación, ya con el hidrógeno formando el agua, con el hidrógeno y el carbono constituyendo la glucosa, bien con los metaloides y metales, dando lugar respectivamente á los ácidos y óxidos minerales.

**Nitrógeno.**—En tesis general, las células vegetales *no asimilan* el nitrógeno al estado de *gas libre*, sino combinado en forma de nitratos principalmente. Sin embargo, en estos últimos años se ha demostrado plenamente que el nitrógeno atmosférico puede ser absorbido por ciertos micro-organismos *bacteroides* cuando éstos vegetan en ciertas condiciones.

Boussingault fué el primero que en 1849 anunció la asimilación del nitrógeno atmosférico por los vegetales, haciendo ver que toda explotación agrícola encierra más nitrógeno al fin de cada rotación que al comienzo. Conocidísimo es también que la vegetación de los bosques y praderas, sin recibir abono nitrogenado alguno, continúa años y años sin interrupción, y su suelo almacena ordinariamente grandes cantidades de nitrógeno. Y aun cuando la atmósfera encierra amoniaco y ácido nitroso que pueden ser utilizados por las plantas, sirviendo de intermediarios las lluvias y el suelo (Schlœsing), es lo cierto que, gracias á los trabajos de los sabios Boussingault, G. Ville, Schlœsing, Müntz, Berthelot, Grandeau, Hellriegel, Willfarth, Breal, Winogradsky, Lawes, Gilbert, Pugh, Laurent y Beyerinck, la asimilación del nitrógeno atmosférico por las células vegetales es un hecho que no tiene lugar á duda.

Hellriegel y Willfarth fueron los primeros que demostraron que los representantes de la familia de las Leguminosas enriquecían el suelo en principios nitrogenados en ausencia de todo abono (*plantas mejorantes*). Y por más que los botánicos, mucho tiempo antes, señalaron la existencia frecuente de pequeños tubérculos ó nudosidades sobre las raíces de aquellas

plantas, ninguno de ellos hasta Hellriegel y Willfarth reconocieron que en la periferia de estas nudosidades (figs. 195 y 196) anidaban numerosos micro-organismos pertenecientes al inmenso grupo de las Bacteriáceas (1).

M. E. Breal, repitiendo las experiencias de estos sabios, demostró posteriormente que el poder fijador del nitrógeno atmosférico, atribuido á las Leguminosas, sólo á las Bacteriáceas asociadas corresponde, haciendo ver que esta asimilación es consecuencia del consorcio simbiótico existente entre las raíces de las Leguminosas (trébol, alfalfa, guisante, altramuz) y las bacterias instaladas en sus nudosi-

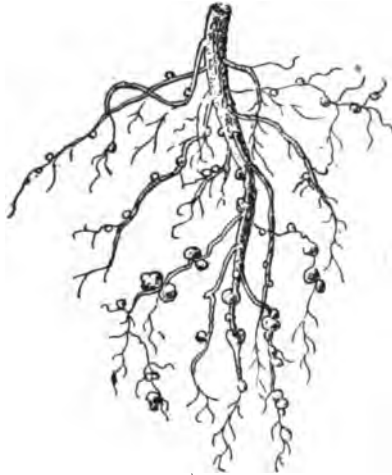


Fig. 195.—Raíz adulta del guisante (*Pisum sativum*), con nudosidades simples y lobadas que encierran bacteroides, micro-organismos asimiladores del nitrógeno libre de la atmósfera.

ces de las Leguminosas (trébol, alfalfa, guisante, altramuz) y las bacterias instaladas en sus nudosi-



Fig. 196.—Nudosidades de un fragmento de la raíz del altramuz (*Lupinus albus*).

dades; servicio mutuo por el cual las bacterias reciben hidratos de carbono que ofrecen las raíces, á cambio del nitrógeno atmosférico convenientemente preparado que poseen aquellos micro-organismos.

Estas nudosidades radicales son de un diámetro de cuatro á cinco milímetros; se encuentran en las raíces principales como secundarias de las plantas precitadas, observándose que las

(1) Hellriegel et Willfarth, *Memoires publiées dans les Annales agronomiques*, tomos XIII y XV.

partes radicales atacadas se acortan é hipertrofian, y á veces afectan una estructura polistélica particular.

El parénquima de estas nudosidades encierra, mezclados con el protoplasma de sus células, numerosos corpúsculos unicelulares de algunas *micras* de longitud, los unos con forma de pequeñas baquetillas rectas ó arqueadas, los otros simulando una U ó una Y (véase fig. 198, b). Estos micro-organismos son los verdaderos *bacilos radicolos*.

Para demostrar que la formación de estas nudosidades es obra de los bacilos radicolos, ha recurrido Breat en el laboratorio de Dehérain á las *inoculaciones*. Es suficiente para ello herir ó picar con la punta de una aguja esterilizada la nudosidad más abultada que se encuentra en la raíz de la planta cargada de ellas, y se introduce al momento en la raicilla joven del guisante ó altramuz en germinación. Colocada en seguida en un cultivo de arena esterilizada con una disolución mineral desprovista de todo alimento nitrogenado, salino ú orgánico, dicha plantita forma nudosidades y vegeta vigorosamente. Si, por el contrario, se cultiva simultáneamente en la misma arena y con igual alimento otra planta de la misma especie, pero no inoçulada, no produce nudosidades y además languidece y muere.

Ahora bien: como la cantidad de nitrógeno contenida en la planta inoçulada es muy superior á la que poseía su semilla, y el vegetal no inoçulado encierra al final de su existencia la misma cantidad de nitrógeno que aportaba su grano generador, no cabe duda que este exceso de nitrógeno es procedente del de la atmósfera.

Para estudiar más detenidamente el desarrollo del *Bacillus radicolos*, se puede hacer uso de una solución nutritiva cualquiera, dejando que el aire tenga libre acceso por ser este ba-

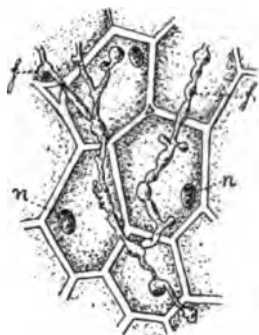


Fig. 197.—Bacteroides de las Leguminosas.—Parénquima de una nudosidad del guisante (*Pisum sativum*): filamentos no tabicados y simbióticos atravesando las células; *f*, hinchazones esféricas que originan por gemación á los bacteroides; *n*, núcleos de las células.

cilo aerobio. El líquido de cultivo obtenido é inoculado sobre tiernas raíces intactas, provoca sobre éstas la aparición de nudosidades.

Estos micro-organismos, que son móviles en solución nutritiva, estudiando ú observando su propagación en el interior de las nudosidades radicales en vía de formación, revisten la forma de filamentos no tabicados (fig. 197), que atraviesan las células del parénquima, y se hinchan en el interior de éstas en cuerpos esféricos que por gemación dan lugar á los diminutos elementos bacteriformes (fig. 198, *b*) que rellenan las nudosidades adultas. En razón de estos caracteres morfológicos, pa-

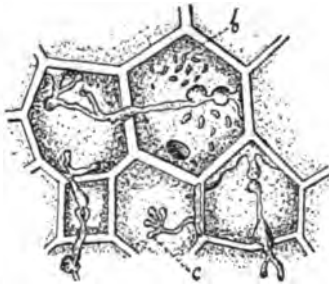


Fig. 198.—Bacteroides de las Leguminosas.

—Parénquima de una nudosidad de la judía (*Phaseolus vulgaris*): *b*, bacteroides aislados originados por gemación de los corpúsculos esféricos del filamento bacteriano; *c*, bacteroides en vías de formación.

recen ocupar dichos micro-organismos un lugar intermedio entre las Bacteriáceas propiamente dichas y los Hongos: de aquí el nombre de *Rhizobium* (*Rhizobium leguminosarum*). Pero á causa de su analogía con las Bacteriáceas en las nudosidades adultas, se prefiere la denominación de *Bacteroides*.

1. **Asimilación del nitrógeno atmosférico por los bacteroides.** — Numerosas experiencias directas é in-

directas demuestran el papel de los Bacteroides en la asimilación del nitrógeno atmosférico.

1.ª Se colocan semillas de leguminosas (altramuz, alfalfa, trébol.....) en una serie de vasos ó tientos esterilizados á la temperatura de 150 grados; se rellenan únicamente de arena silíceá lavada con agua destilada, y se riegan con soluciones nutritivas minerales igualmente esterilizadas, las unas completas, las otras sin nitratos. Las soluciones completas encierran nitrato y fosfato de calcio, cloruro de potasio y sulfato de magnesio. Los vasos se disponen en tres series.

Los de la primera serie, regados simplemente con una solución nutritiva desprovista de nitratos. Sus plantitas se desa-



rotlan como de ordinario, hasta tanto que consumen las reservas alimenticias de la semilla; pero después la vegetación palidece á consecuencia de la falta de alimento nitrogenado. Y aun cuando sucede que las plantas obtenidas florecen y fructifican, sin embargo, el peso seco de las plantas enteras no es superior al peso seco de las semillas en germinación.

Los vasos de la segunda serie reciben la solución nutritiva completa. La vegetación en este caso adquiere más vigor, como consecuencia evidente de la presencia de nitratos, y el peso de la cosecha aumenta en relación al peso de los nitratos añadidos.

Por último, en los vasos de la tercera serie, se colocan las plantas en arena esterilizada adicionada de tierra arable, recogida en un campo de leguminosas y diluída con un poco de agua pura. Se riegan, como en el caso anterior, con una solución nutritiva completa. En estas condiciones, las leguminosas cultivadas adquieren un desarrollo considerable; muy superior por el peso de sus semillas al observado en los precedentes ensayos, y al mismo tiempo aparecen sobre sus raíces pequeñas nudosidades de bacteroides que no se producen en los casos anteriores.

De donde resulta que los bacteroides existen en el suelo natural, y á ellos se debe la vegetación intensiva de las leguminosas.

2.º Hellriegel y Willfarth han deducido estas conclusiones con experimentos semejantes. Estos sabios disponen de 42 tiestos, conteniendo cada uno cuatro kilogramos de arena adicionada de carbonato de cal. Siembran en cada tiesto dos semillas de guisante en germinación, y riegan la arena, á medida de las necesidades de la planta, con una disolución de fosfato de potasa, cloruro de potasio y sulfato de magnesio.

Treinta de estos tiestos fueron abandonados á sí mismos; diez reciben además 25 centigramos de *desleído* ó *diluido térreo* (1), y en los dos últimos se esterilizó la arena antes de la siembra.

(1) Este *desleído* se obtiene mezclando con agua una cantidad de tierra en la que hayan vegetado el año anterior algunas leguminosas. Abandonada algunos instantes para su reposo, da un depósito de materias sólidas y una capa superior acuosa más ó menos turbia. Con este agua enturbiada fueron regados los diez tiestos.

Las experiencias comienzan el 23 de Mayo y dan los resultados siguientes:

En las dos primeras semanas no se observa diferenciación alguna en las plantas, debido, sin duda alguna, á que viven de las reservas alimenticias de sus semillas.

El 13 de Junio, los diez tiestos rociados con el *desleído térreo* presentan una belleza incomparable.

Observados el mismo día los demás, se nota que amarillean casi todos, excepto algunos pies que conservan igual lozania que los anteriores.

Del 15 al 30 de Junio, las plantas amarillentas perecen.

En el momento de la recolección, los tiestos rociados ó regados con diluido térreo, dan de 16 á 20 gramos de materia seca; mientras que en los otros los resultados son muy variables, y en general despreciables ó nulos.

Si en lugar de guisantes hubiéramos sembrado cereales, aun los regados con dilución térrea no hubieran experimentado variación alguna.

Y finalmente, si este diluido térreo se somete á la *ebullición* antes de rociar con dicho líquido los tiestos, los diez consabidos correrían la misma suerte que los treinta y dos restantes.

Todo lo cual prueba que el diluido térreo encierra Bacteroides procedentes de las leguminosas cultivadas el año anterior.

3.º Se demostraría directamente lo mismo por el conocido procedimiento de la *inoculación*. Para ello, esterilizaremos la arena y el alimento, y en estas condiciones observaríamos que las plantas inoculadas se desarrollan vigorosamente, y su raíz se cubre de nudosidades, y la no inoculada moriría. El análisis químico nos demuestra además que sólo la inoculada está enriquecida en nitrógeno.

4.º Recordemos, finalmente, que los Bacteroides pueden ser cultivados en medios inertes, como son las soluciones nutritivas de gelosa, etc., y que estos micro-organismos se conducen en su desarrollo como en las nudosidades.

De aquí la opinión probable de que los Bacteroides vivan libres en la tierra arable, enriqueciendo ésta en principios nitrogenados, del mismo modo que las simbiosis de las nudosidades enriquecen las Leguminosas.

Es importantísimo saber que los cultivos puros de Bacteroi-

des no vegetan en medios donde el solo alimento nitrogenado es el nitrógeno atmosférico. Para el desarrollo de ellos, ha de disponerse de nitrógeno combinado, teniendo presente que prefieren los nitratos á cualquiera sal amoniacal. Sólo de este modo se desenvuelven, funcionan y realizan la sorprendente fijación del nitrógeno atmosférico; pues de lo contrario, es decir, desde el momento que dicho alimento nitrogenado falta, los cultivos desaparecen.

5.ª Otra prueba de la fijación del nitrógeno atmosférico por las Leguminosas, es la dada por el análisis de una atmósfera limitada de volumen conocido, en la cual vegetan guisantes en suelo arenoso silíceo, calcinado. Éste último es previamente adicionado de una dilución de nudosidades frescas de guisante ó de haba, y después se riega con una solución nutritiva mineral esterilizada y *desprovista de sales nitrogenadas*.

Se mantiene con cuidado una proporción constante de anhídrido carbónico necesaria á su nutrición activa, y se tiene en cuenta en el análisis el desprendimiento de oxígeno resultante de la función clorofílica. Al cabo de tres meses de una vegetación normal, las raíces se llenan de nudosidades, y entonces el análisis del aire interior acusa una disminución de la cantidad de nitrógeno, el mismo que en ganancia se advierte en las plantas y el suelo.

No cabe duda entonces que siendo el nitrógeno libre de la atmósfera el único alimento nitrogenado exterior puesto á disposición de los Bacteroides, á él se debe el aumento nitrogenado de estos últimos.

En resumen: de los ensayos precedentes resulta, en definitiva, que los Bacteroides tienen el maravilloso papel de fijar directa y enérgicamente el nitrógeno atmosférico para incorporarlo á los hidratos de carbono ú otros compuestos que ellos reciben de la planta que benefician por no poderlos formar.

De modo que si las Leguminosas se aprovechan de las sustancias albuminoides que resultan de la fijación del nitrógeno libre, suministran, en cambio, á los Bacteroides el carbono que necesitan, y sin el cual no podrían vegetar. Este mutuo trasiego de elementos nutritivos, constituye la asociación armónica de los dos seres; en una palabra, la *simbiosis*.

Como todo sér organizado, los Bacteroides desaparecen después de una existencia más ó menos larga; los restos de su

organismo se descomponen en las profundidades de las nudosidades, y son utilizados por la planta asociada. De este hecho se desprende que las raíces de las Leguminosas que quedan en el suelo después de la siega, son capaces de enriquecerlo en principios nitrogenados. Dichas raíces se descomponen al mismo tiempo que las nudosidades; las sustancias albuminoides de estas últimas se transforman, bajo la acción de los fermentos del suelo, en sales amoniacales (nitritos y nitratos), cuya acción fertilizante será demostrada.

Esto explica la práctica importante cultural de alternar el cultivo de las Leguminosas con plantas ávidas de nitrógeno (trigo, remolacha, etc.), para utilizar estas últimas las reservas nitrogenadas que las primeras han dejado en la capa vegetal.

**Multiplicidad de variedades de Bacteroides.**—Se ha reconocido que los Bacteroides de las diversas Leguminosas, no se desarrollan indistintamente sobre *todas* las plantas de esta familia. Así, los Bacteroides del altramuз son favorables al desarrollo del guisante, y los de éste no tienen acción sobre el altramuз.

Las semillas de *Soja hispida* (leguminosa originaria del Japón) sembradas en Europa, originan plantas desprovistas de nudosidades, aun cuando se hallen asociadas á nuestras Leguminosas; en cambio, en su país la *Soja* desarrolla muchas nudosidades radicales. Más aún: si sembramos en el suelo europeo un poco de tierra del Japón donde la *Soja* ha vegetado, el desarrollo de esta planta es más activo, sus semillas son más pesadas y las raíces llevan además nudosidades.

De esto se infiere que existen, si no especies distintas, por lo menos variedades de Bacteroides adaptadas cada una de ellas á vivir sobre especies de Leguminosas determinadas.

**Otros organismos fijadores de nitrógeno.**—Independientemente de los Bacteroides de las Leguminosas, ciertos microorganismos que se hallan en la tierra de labor, pueden realizar tambien la fijación del nitrógeno atmosférico. ¿Cómo explicar, por ejemplo, la riqueza constante y á veces considerable en productos nitrogenados que desde antiguo se viene observando en el suelo de los bosques montañosos, que subsisten siglos y siglos, á pesar de las pérdidas que experimentan con la alimentación del ganado? ¿Serán sólo las Leguminosas las únicas plantas capaces de utilizar el nitrógeno atmosférico, ó

hay en la capa vegetal otros micro-organismos que tengan el mismo poder fijador? Las experiencias de Schloësing (hijo) y Laurent, de Bouilhac, etc., responden afirmativamente á esta cuestión.

Los dos primeros, en una primera serie de ensayos, cultivan en tiestos encerrados en una atmósfera limitada, rigurosamente medida, pataca, avena, tabaco y guisante. Otros tiestos semejantes á los anteriores no llevan vegetación alguna. En una segunda serie de ensayos, á la avena y á los guisantes se añaden las plantas siguientes: mostaza, berro y *Spergula*.

En la primera serie de ensayos, la fijación del nitrógeno atmosférico se manifiesta en todos los casos, y es sensiblemente mayor cuando en el tiesto vegeta el guisante. De siete experiencias, en seis el volumen del nitrógeno atmosférico disminuye, y el análisis descubre en los productos obtenidos más nitrógeno combinado que el correspondiente á las semillas sembradas (Deherain).

Entre los tiestos sin simiente, se hallan algunos que han fijado, sin embargo, el nitrógeno en bastante cantidad, desarrollándose en la superficie de la tierra una delgada capa de plantas verdes (algas); mientras que sobre dos de los tiestos no sembrados y en donde las algas no habían brotado, la cantidad de nitrógeno era insignificante ó nula. La costra verde sometida al análisis hizo conocer que encerraba en combinación todo el nitrógeno desaparecido, faltando, como era natural, en las capas subyacentes.

Los experimentadores, para impedir el desarrollo de las algas, esparcieron sobre el suelo de los tiestos una capa de arena calcinada, observándose entonces, como creían natural, y así resultó, que la fijación del nitrógeno no tenía lugar tanto en los tiestos sin sembrar como en los sembrados con plantas distintas á las Leguminosas.

Se ha reconocido también, en estos últimos años, que ciertos *Nostocs* que se encuentran ordinariamente en la superficie de las tierras labrantías, son capaces de fijar el nitrógeno del aire en gran cantidad. Pero como los cultivos no han sido practicados con toda pureza, queda por averiguar si esta fijación es obra directa de los vegetales antedichos ó resultado de una simbiosis de ciertas algas verdes con las Bacterias. Para resolver este problema, es necesario, dice Guignard, obtener culti-

vos puros y observar si una especie dada se comporta por sí sola en la realización del fenómeno ó necesita de la simbiosis bacteriana.

Aun en este sentido se notan diferencias entre las algas de un mismo grupo, según Bouilhac. Así, por ejemplo, el *Nostoc punctiforme* no fija el nitrógeno libre en cultivo puro y si en presencia de las bacterias del suelo. La nostocácea *Schizothrix lardacea* no asimila dicho elemento en ninguno de ambos sentidos, realizándose lo mismo en el alga verde denominada *Ulothrix flaccida*.

En suma, merece un detenido examen el hecho de que ciertas algas microscópicas, principalmente del grupo de los *Nostocáceas* (Cianofíceas) que cubren con el tiempo los suelos cultivados ó sin cultivar, de una vegetación verde sombra y gelatinosa, parezcan dotados, como los organismos incoloros bacteroides, del poder fijador del nitrógeno atmosférico.

**2. Nitrógeno combinado.**—El nitrógeno no es asimilado hallándose combinado con el carbono formando el cianógeno. Puede ser absorbido algunas veces en forma de compuestos complejos, como la urea, esparraguina y principios albuminoideos, en cuyo caso abrevia á la célula el trabajo asimilativo. Y por último, es asimilado notablemente constituyendo nitrato ó amoniaco, deduciéndose entonces que el nitrato amónico es la forma doblemente asimilable.

**α. Células desprovistas de materia verde.**—La célula vegetal tiene la propiedad de formar substancias albuminoides á expensas de los compuestos orgánicos y materias inorgánicas nitrogenadas, manifestándose el fenómeno independiente de la asimilación del carbono y pudiendo cumplirse en las células desprovistas de clorofila y en ausencia de toda acción luminosa.

Para demostrar esta independencia, se elige la levadura de cerveza. Por lavados repetidos en agua destilada, se purifica el hongo todo lo posible y se obtiene un líquido de aspecto lechoso, conteniendo pequeña cantidad del micro-organismo. Se vierten en tres recipientes *A, B, C*, líquidos diferentes. En *A*, agua destilada; en *B*, la solución nutritiva de Pasteur que contiene en 1.000 partes: 838 de agua, 150 de azúcar de uva, 10 de acetato de amonio, 0,2 de sulfato de magnesio, 0,2 de fosfato de calcio y 2 de fosfato ácido de potasio; y en *C*, un líquido con la misma composición de la solución nutritiva de Pasteur,

pero sin el acetato de amonio. Tomadas todas las precauciones de esterilización, resulta que el desarrollo del *Saccharomyces cerevisiae* es considerable, tanto en la presencia de la luz como de la obscuridad en el recipiente B, y muy mediano en los otros dos. La reproducción celular es acompañada de formación de materias orgánicas nitrogenadas, porque las células nuevas que no han tenido á su disposición más que compuestos inorgánicos no nitrogenados, poseen ahora un citoplasma rico en sustancias albuminoides.

Si el acetato de amonio es sustituido por el nitrato de potasio, los resultados son idénticos, y si las peptonas sustituyen á los nitratos, la formación de sustancias nitrogenadas es más abundante.

Además, *las sales amoniacaes no exigen para ser asimiladas la intervención de la clorofila*, como luego veremos, siendo directamente incorporadas á la célula por las solas fuerzas protoplásmicas, excepción hecha de los Bacteroides en simbiosis.

**az. Células provistas de clorofila ó bacteria purpurina.**—La asimilación de los nitratos exige la presencia de la clorofila y la intervención de la radiación solar.

Un hecho importante que ante todo debemos tomar en consideración, es el relativo á que los *nitratos desaparecen activamente en las hojas verdes expuestas al sol* (remolacha), y se *acumulen en la obscuridad* de los demás órganos vegetales, incluso en los normalmente sustraídos á la influencia de la luz (raíz). Este hecho pone de relieve la solidaridad de la asimilación del nitrógeno en combinación nítrica con el carbono en la de anhídrido carbónico.

En las células verdes de las hojas, los nitratos de calcio y de potasio que lleva la savia ascendente, se hallan en presencia de diversos ácidos orgánicos como el oxálico, tártrico, málico, etc., engendrados probablemente ó por la oxidación de los alcoholes ó por el desdoblamiento de los principios albuminoides de los cloroplastos (1).

En presencia del ácido oxálico ú oxalato de potasio, por ejemplo,

(1) El desdoblamiento puramente químico de la albúmina por la barita, origina ácidos orgánicos (ácido aspártico), al mismo tiempo que sustancias amino-ácidas. ¿No pudiera suceder lo mismo con bases semejantes?

el nitrato de cal pierde su base, dando lugar al oxalato cálcico, sal muy frecuente en las células vegetales, y de este modo dicho ácido tan nocivo para el protoplasma se inmoviliza; en cuanto al ácido nítrico resultante, sufre transformaciones á medida que se origina, porque no se le encuentra libre en la planta.

Si sobre el nitrato de potasio se opera la transformación, se forma de la misma manera una producción parcial de oxalato de potasio (sal soluble) y ácido nítrico libre.

¿Qué sucede en seguida con este ácido nítrico puesto en libertad? ¿Sufrirá una reducción, de donde resultará la porción de oxígeno excedente que en la descomposición del anhídrido carbónico se nota por ser el cociente asimilador clorofílico  $\frac{CO_2}{O} < 1$ ? ¿El nitrógeno así reducido, pasará entonces al estado de compuestos orgánicos (amino-ácidos)?

Si sumergimos la base de algunos tallos blanquecinos ó cloróticos (patata) ó bien hojas blancas y manchadas del *Negundo fraxinifolium*, Nutt., *foliis variegatis*, en una solución nutritiva, no asimilan sensiblemente los nitratos; en cambio, esta asimilación es muy activa en los mismos órganos verdes expuestos á la luz.

Dicha asimilación nítrica cesa exponiendo los vegetales á la acción de los rayos emergidos por el bicromato de potasio ó el sulfato de quinina, y es muy activa cuando proceden del sulfato de cobre: de aquí se desprende que las radiaciones ultravioletas son principalmente las que intervienen en la incorporación de los nitratos en los compuestos orgánicos.

Dijimos anteriormente que las sales amoniacaes no exigen, para ser asimiladas, la intervención de la clorofila, y además que eran directamente incorporadas á la célula por la fuerza misma del protoplasma. Por esta razón, las hojas blancas (*foliis albo-maculatis*) de diversas plantas (*Ulmus*, *Negundo*) fijan mejor este género de sales que las hojas verdes.

Se ha probado además que las hojas verdes sumergidas por su base en una solución nutritiva con nitratos, se transforman y enriquecen transitoriamente en sales amoniacaes en el curso de la asimilación. Este hecho interesante tiende á probar que la reducción de los nitratos en el seno de las células, es fase primordial para la incorporación del nitrógeno en los principios orgánicos.



**Productos húmicos.**—Una de las materias fertilizantes que por su eficaz aplicación es utilizada con preferencia por los agricultores, es el *humus* ó *mantillo*, nombre que se da al conjunto de restos vegetales y animales en descomposición que se encuentran en el suelo.

Esta substancia, acarreada á largas distancias por las aguas y depositada en los valles y hondonadas, proporciona á las plantas cultivadas los elementos constitutivos en un estado de división favorable á su desarrollo; retiene y conserva, por su gran poder absorbente de humedad, las substancias disueltas en los líquidos; es el depósito de todas las materias amoniacales y nítricas procedentes de la atmósfera conducidas por las lluvias, y es, en fin, el medio en que tienen lugar las reacciones químicas operadas en el suelo.

El mantillo, como abono orgánico, origina en su descomposición grandes cantidades de anhídrido carbónico, y gracias á esta acción, no suplida por los abonos minerales, modifica convenientemente las propiedades físicas de los terrenos.

Con el nombre de *compuestos húmicos* se designa en química la serie de combinaciones orgánicas que en el suelo se realizan, á consecuencia de la putrefacción y descomposición de las plantas y animales.

El principal y mejor conocido de estos compuestos, es el *ácido húmico*. Se obtiene triturando la turba en el agua alcalinizada con un poco de potasa, que origina un líquido negro, en el cual se halla en disolución humato de potasio y otras sales con el ácido crénico y apocrénico. La solución de humato de potasio, tratada por el ácido clorhídrico, deja en libertad el ácido húmico en abundantes precipitados pardo-rojizos, que, desecados, se transforman en una masa negra soluble en amoníaco. Disuelta y tratada con el cloruro de calcio, produce un humato doble de amonio y calcio, que es la substancia probablemente formada en el suelo (Detmer).

El *humus* se halla en la capa labrantía en diferentes estados de descomposición, pues comenzando por su forma orgánica primitiva, pasa después al de *humus* carbonoso, y llega por fin al *humus* soluble ó ácido húmico.

Este último se halla en gran parte combinado con la cal (humato de cal), en cuyo estado resiste la acción disolvente del agua y del amoníaco libre, siendo fácilmente transformado por el carbonato amónico; y como este carbonato se produce incesantemente en las putrefacciones, el humato de cal resultante se encuentra en condiciones adecuadas para ser utilizado por los vegetales.

El *humus* puede ser ácido (tierra de brezo) ó dulce, según la riqueza de tanino que contenga, siendo necesario aquél para ser aprovechado, adicionarle marga ó cal para quitarle el exceso de acidez.

La tierra turbosa es una variedad de *humus* formada por vegetales, cuya descomposición se efectúa debajo del agua; es pobre en fosfatos y otras sustancias salinas, y presta grandes servicios agrícolas teniendo la precaución de añadirle cal, pues entonces constituye un buen manantial de nitratos y de anhídrido carbónico.

El *humus* forma nitratos en abundante cantidad y contribuye á la disolución del carbonato de cal por el anhídrido carbónico que produce: se apodera fácilmente del agua, que luego cede á las plantas, y su color negro aumenta la absorción de la tierra para el calor.

Las materias orgánicas nitrogenadas sufren en el suelo transformaciones sucesivas que dan por resultado á sales amoniacales en primer término, y después á nitritos y nitratos por un fenómeno de oxidación.

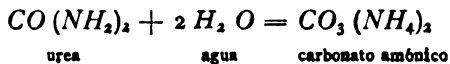
Según esto, las materias orgánicas complejas animales ó vegetales, confiadas á la tierra, son objeto, en cuanto á su nitrógeno, de tres mineralizaciones sucesivas (amoniacal, nitrosa y nítrica), que reciben el nombre de *fermentaciones terrestres*.

**Fermentación amoniacal.**—Es un fenómeno de hidratación por el cual las materias orgánicas más diversas (albúmina, gluten, urea y otros compuestos nitrogenados), se convierten en carbonato amónico.

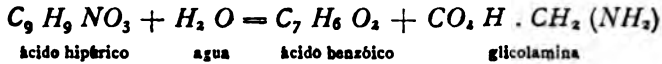
Los organismos que efectúan esta mineralización (Bacterias, *Bacillus*, *Micrococcus*), pululan en la capa labrantía y desempeñan en la economía general de la naturaleza un papel de suma importancia. Sin ellos, las plantas ordinarias provistas de clorofila no podrían vegetar.

Una de las fermentaciones amoniacales mejor conocidas es la experimentada por la orina.

Si es la orina del hombre, por la influencia del principio diastásico *ureasa* de diversos micro-organismos, y principalmente del *Micrococcus ureæ*, se hidroliza la urea convirtiéndose en *carbonato amónico*, según la ecuación siguiente:

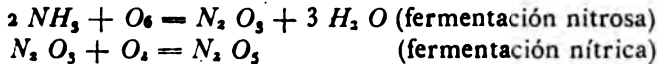


Si es la orina de los herbívoros, los productos de la fermentación son: *ácido benzóico* y *glicolamina* ó *glicocola*.



Estas substancias amoniacales son á su vez transformadas en nitritos y nitratos, á consecuencia de oxidaciones sucesivas provocadas por los fermentos de las *nitrobacterias*.

**Fermentaciones nitrosa y nítrica.**—La oxidación ejercida por el fermento nitroso del *Micrococcus nitrosus* (Bacteria nitrosa) en medio amoniacal, es mucho más enérgica que la producida por el fermento nítrico del *Micrococcus nitricus* (Bacteria nítrica) en medio nitroso. Es necesario próximamente tres veces más de oxígeno para transformar un peso dado de nitrógeno, en combinación amoniacal, en nitrógeno bajo la forma nitrosa, que para convertir este mismo peso de nitrógeno del estado nitroso en nitrógeno en combinación nítrica. La prueba de ello está revelada en las ecuaciones siguientes, en las cuales los ácidos se han supuesto anhidros:



Estas oxidaciones proporcionan á las Nitrobacterias la energía necesaria para el desarrollo de su vida.

Se comprende, según esto, el por qué en los cultivos de estos micro-organismos en medios líquidos, y donde las colonias se forman en el fondo sobre el carbonato cálcico (1), la Bacteria nitrosa adquiere más desarrollo, debido á que siendo más ávida por el oxígeno, anula total ó parcialmente la fermentación nítrica; resultando como consecuencia la presencia en dichos cultivos de nitritos libres.

En el suelo, inversamente, la producción nitrosa es transitoria, pues á medida que los nitritos son engendrados, se convierten en nitratos por la Bacteria nítrica. Esta variación

(1) Se cultivan las Nitrobacterias, sea en solución nutritiva mineral, ó en esta misma solución gelatinizada por la sílice, siempre al aire libre y estando los recipientes cubiertos con tapón de amianto. En ausencia del oxígeno

en el proceso, indicada anteriormente, es debida á la porosidad del terreno, que asegura una aireación suficiente al desarrollo simultáneo de los dos fermentos, siendo mucho más activa la nitratación en las tierras sueltas y bien aireadas. Sería suficiente esterilizar la tierra y sembrar fermento nitroso puro, para no obtener más que nitritos, sin aumento alguno de nitratos.

El óptimum de temperatura para la nitratación es de 37°; el minimum, de 5°, y el maximum, de 55°.

Añadamos que el azufre y el fósforo de las materias orgánicas albuminoideas, así metamorfoseadas, experimentan también su correspondiente oxidación, pasando respectivamente al estado de ácido sulfúrico y fosfórico, que unidos á las bases alcalinas ó alcalino-térreas, constituyen sulfatos (sulfato de cal) y fosfatos (fosfato neutro de cal). En cuanto al carbono, se transforma, como es sabido, en anhídrido carbónico.

**Compuestos nitrogenados minerales ó químicos.**—La introducción de los abonos comerciales en el cultivo de las plantas, tiene cada día que pasa más aceptación, á pesar de lo que se ha escrito en contrario y la tenacidad por parte de los labradores en aceptarlos. Está completamente demostrado que el estiércol, el más completo y el mejor de todos los abonos según se sospechó, no repara á la tierra lo que las cosechas le han sustraído, siendo imprescindible añadir abonos complementarios.

La forma asimilable más corriente entre los nitrogenados, son el nitrato de sosa y el sulfato amónico. El primero forma importantes

atmosférico, no se produce nitrificación alguna. Además, el medio debe ser alcalino, para neutralizar los ácidos resultantes de la oxidación.

La solución nutritiva de los dos fermentos, no difiere más que por la naturaleza de la materia fermentescible.

| Materia fermentescible:                             | Gramos.  |
|---|----------|
| a.—Nitrito de potasio para el fermento nítrico..... | 0,4      |
| b.—Sulfato de amonio para el fermento nitroso....   | 0,4      |
| Sulfato de magnesio.....                            | 0,05     |
| Fosfato de potasio.....                             | 0,1      |
| Carbonato sódico.....                               | 0,6      |
| Cloruro cálcico.....                                | indicios |
| Carbonato cálcico.....                              | exceso   |
| Agua destilada.....                                 | 100      |

y extensos yacimientos en el desierto de Atacama, entre Perú y Chile, y por eso es relativamente barato.

Grandeau resume del modo siguiente las principales ventajas del nitrato:

a. El nitrato es asimilado directamente por la planta, pues no teniendo que sufrir modificación alguna en la tierra, actúa más rápidamente que los otros abonos nitrogenados de origen orgánico, cuya acción está subordinada á la nitrificación precisa por los fermentos nitroso y nítrico.

b. La rapidez con la cual el nitrato es absorbido por los vegetales, los coloca en estado de resistir, por su vigor y desarrollo, á las intemperies, y, sobre todo, á la acción de los insectos perjudiciales y parásitos.

c. En los años de inviernos rigurosos ó muy lluviosos, el nitrato empleado sobre los trigos y cebadas permite á las sementeras de otoño reparar el retraso producido por la influencia desfavorable de las condiciones climatológicas.

d. Finalmente, el nitrato aumenta económicamente el rendimiento de la mayor parte de los cultivos. El nitrato conviene á todas las tierras, y su empleo varía según la naturaleza física y química de aquéllas. En los suelos arcillosos ó tierras fuertes, se emplea de una sola vez la dosis total necesaria (100 kilogramos para el trigo, 300 kilogramos para la remolacha por hectárea); en suelos ligeros conviene fraccionar la dosis y aplicarla en varias veces.

**Desnitrificación.**—Varias especies de Bacteriáceas están dotadas de un poder reductor sobre los nitratos, dando lugar á un desprendimiento de nitrógeno gaseoso ó de óxido nitroso.

Estas *bacterias desnitrificantes* se encuentran principalmente en los excrementos de los animales y en los estiércoles, y contribuyen á la putrefacción de los tejidos animales y vegetales. Claro es que desarrollándose estas bacterias en la tierra de labor, la empobrecen en nitrógeno con perjuicio de las plantas en cultivo.

Para evidenciar esta fermentación por reducción, basta verter una disolución de nitrato sódico sobre la boñiga de caballo. Con una temperatura de 15 á 20°, la mezcla entra en fermentación al cabo de pocas horas, produciéndose un desprendimiento de nitrógeno, hasta que el nitrato desaparece totalmente.

Esterilizando la mezcla precedente con el calor, la desnitrificación no tiene lugar. Para destruir igualmente las bacterias

desnitrificantes del estiércol fresco, se puede emplear, ó una pequeña cantidad de ácido sulfúrico, ó mejor todavía superfosfato de calcio adicionado de ácido sulfúrico, que al mismo tiempo que sirve de abono, hace que conserve la tierra todo su valor fertilizante.

**Hidrógeno.**—Este elemento no es asimilado al estado de gas libre. El medio general de absorción es constituyendo agua, amoníaco, glucosa ú otros compuestos ternarios y cuaternarios.

**Fósforo.**—Es recibido por las células constituyendo ácido fosfórico, cualquiera que sea la sal, siendo principalmente los superfosfatos los compuestos más empleados por los agricultores.

**Azufre.**—Es asimilado en forma de ácido sulfúrico, cualquiera que sea la sal.

**Silicio.**—Para ser soluble y asimilable, debe formar ácido silícico ó silicato soluble. En el primer caso, es necesario se encuentre al estado naciente ó libre en el momento de ser desalojado de sus combinaciones. Así sucede que los carrizos (*Pharagmites communis*), que viven á orillas de los ríos, y los *Equisetum*, etc., de lugares húmedos y pantanosos, son abundantes en ácido silícico. Este ácido procede generalmente de la alteración de los feldspatos en presencia del  $CO_2$  y la humedad. Dichos feldspatos se transforman en silicato de alúmina (*kaolin, arcilla*), carbonato del monóxido que lleve el feldspato y *ácido silícico*, que por su solubilidad en el agua acidulada con  $CO_2$ , se halla en condiciones de ser asimilado por las plantas.

**Potasio, magnesio y calcio.**—Estos tres elementos son absorbidos, formando principalmente nitratos, sulfatos, fosfatos, carbonatos y cloruros solubles.

**Hierro, zinc y manganeso.**—Son asimilados igualmente estos metales, constituyendo sales con los ácidos arriba expresados.

En suma, mezclando en disolución acuosa y en presencia del oxígeno del aire las substancias siguientes: glucosa, nitrato potásico, fosfato de magnesia, sulfatos de hierro, de zinc y de manganeso, carbonato ácido de cal y silicato de potasa, se obtiene el medio alimenticio externo más favorable y completo para que toda planta ó célula sin clorofila pueda desarrollarse.

**Forma asimilable de los elementos del medio interno.**—Radica esta forma asimiladora en la *madurez* de las reservas ó ali-

mento interno que la planta ha depositado á prevención en lugares determinados para ulteriores beneficios asimilativos.

Los elementos externos absorbidos en la forma consabida, sufren en el citoplasma intrincados cambios bioquímicos ó procesos metabólicos que dan lugar á la primera asimilación de los productos. Una parte de éstos es destinada en la célula á sostener su crecimiento y conservar el calor que le es propio. La otra parte, como es superior al gasto celular, aun cuando asimilada, no presta su apoyo al incremento orgánico por exceso alimenticio, en cuyo caso se transforma en un producto insoluble é inasimilable que, economizado por el vegetal, lo *coloca en reserva* en algunos tejidos, para disponer de él en tiempo oportuno. Pero como para realizarse este fenómeno, es decir, para ser reasimilados estos materiales depositados, es imprescindible una transformación hidrolítica con intervención de fermentos determinados, según los casos, que no se iniciará hasta tanto las reservas se hallen en estado maduro, resulta, de consiguiente, que la *madurez de las reservas* es la condición *sine qua non* y precisa para ser asimilados los elementos alimenticios del medio interno.

Tan cierto es esto, que inútil sería obligáramos á cualquier planta á pasar antes de tiempo de la vida latente á la vida activa, aun cuando la rodeáramos de todas las condiciones necesarias para el ejercicio de su desarrollo, y en forma asimilable además de todos los elementos químicos externos que con los internos integran el alimento completo. Así acontece, por ejemplo, que no se desenvuelven los tubérculos de patata cuando se les proporciona en otoño ó en invierno aire ó agua con el grado de calor necesario, y en cambio, algunos meses después, ó sea en primavera, con las condiciones antedichas, se provoca el desarrollo; todo lo cual acredita que las reservas de la patata llegan en primavera á su estado de madurez, y en dicha época corresponde despertemos su vida activa en el cultivo.

Lo mismo sucede con las semillas y plantas adultas. De todos es conocido en nuestros climas que las plantas, después de la caída de las hojas, entran en una fase de reposo cuya vida latente continúa más ó menos tiempo, á pesar de serles favorables todas las condiciones exteriores. Y es que sus reservas no maduran hasta la primavera siguiente, época en la

cual son asimilables, con las mismas condiciones que en invierno fueron impotentes para provocar el desarrollo y crecimiento de los vegetales.

En suma: de todo lo anteriormente dicho se deduce que mientras las reservas alimenticias almacenadas en los tejidos de determinados órganos, no sufran en el tiempo preciso, variable según las especies, las transformaciones que deben tener lugar para su completa madurez, es de todo punto imposible la vida activa de los seres.

Una vez que las reservas se hallan en condiciones de ser asimiladas, su madurez se conserva más ó menos tiempo, pasado el cual, dichos alimentos internos se alteran y pierden lentamente su virtud asimiladora. De aquí surgen tres estados de madurez de gran importancia fisiológica: la madurez incipiente, la franca madurez y, por último, la madurez final ó terminal.

La determinación más ó menos precisa de estas tres fases madurativas, basada en los cálculos y experimentos agrícolas, tiene un fundamento agronómico incuestionable; pues sólo así fija el agrónomo el punto de partida de toda cosecha para conseguir con fruto el desenvolvimiento más lozano y más en armonía con el funcionamiento de las especies puestas en cultivo.

**Cantidad útil de los elementos asimilables.**—Fácil es calcular la proporción en que los diversos elementos fitogénicos intervienen en la constitución del alimento completo.

Dicha determinación, en cuanto á la cantidad útil de las *reservas ó porción interna del alimento* en las plantas, no tiene objeto alguno, pues claro es que el fenómeno se cumple y realiza en la naturaleza con el peso y medida que reclaman las necesidades propias de cada una de las células vegetales.

Mas no acontece lo mismo con la *porción externa del alimento*, ó sea respecto á la parte útil de los elementos procedentes del medio exterior, pues debiendo fijarse con toda exactitud la cantidad *óptima* de cada uno de ellos en armonía con el mayor desarrollo del vegetal, el más ó el menos puede dificultar el desenvolvimiento del sér y hasta actuar como un veneno si la proporción es excesiva.

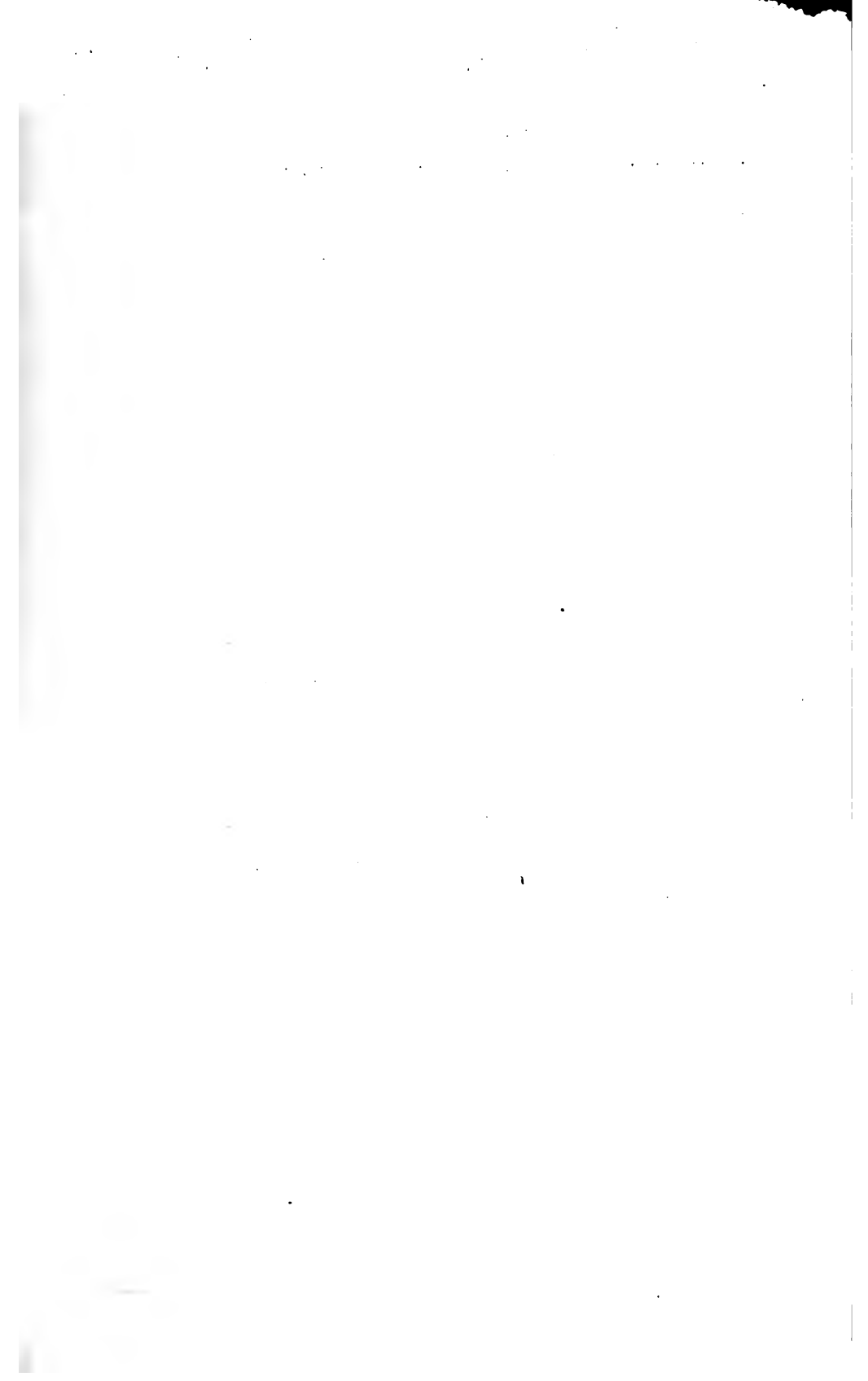
El medio para resolver el problema con relativa facilidad es, sin duda alguna, seguir el camino que emprendimos en la



determinación de los componentes que integran el alimento completo de todo vegetal, es decir, el método sintético (véase pág. 27). Por él, se dedujo, después de varios ensayos, cuál es el medio nutritivo más conveniente para el desarrollo del *Sterigmatocystis nigra*, y como corolario se demostró que con la experimentación puede deducirse en cada caso particular el valor *óptimum* para cada uno de los trece elementos del medio externo, según sea, como es natural, la forma asimilable en que se empleen.

**Anestésicos.**—Toda substancia que paralice el desarrollo de los seres é impida, por consiguiente, que la planta unicelular ó pluricelular se aproveche del alimento que le rodea, es, en tesis general, un *anestésico*. Así, por ejemplo, una pequeña cantidad de cloroformo ó de éter detiene el desarrollo de la levadura de cerveza, comenzando nuevamente el desenvolvimiento en el momento en que la acción de dichos agentes cesa. Análogamente ocurre que con las mismas substancias se paraliza el proceso germinativo de las semillas, é igualmente acontece que se retiene la vida latente de las células, esporas y semillas, dificultando, por tanto, el paso á la vida activa.

**Venenos.**—Toda substancia ó materia que impide la vida de los seres allí donde se encuentra, ó que absorbida por los organismos produce la destrucción de las células y tejidos y el trastorno consiguiente en el funcionamiento, dando por resultado casi siempre la muerte, recibe el nombre de *veneno*. El nitrato de plata, por ejemplo, en soluciones pequeñísimas, impide el desarrollo de muchos hongos; lo mismo sucede con el sublimado corrosivo y otras muchas substancias que no son del caso referir, por ser conocidas de todos.



## SECCION SEGUNDA

### FENÓMENOS FÍSICOS INTERNOS

#### CAPÍTULO ÚNICO

TEORÍA MICELAR—FUNCIONES DIOSMÓTICAS:  
ABSORCIÓN, CIRCULACIÓN—FENÓMENOS RESULTANTES:  
TURGESCENCIA, PLASMOLISIS

Antes de entrar en estos fenómenos vitales representados por la turgescencia y plasmolisis celulares, es conveniente bosquejar los principales puntos que abrazan las funciones de absorción y circulación, y, sobre todo, la teoría micelar, como causas de dichos fenómenos, pues sin un repaso de estos conocimientos, difícil sería darnos cuenta clara de la dilatación y contracción protoplásmicas, determinantes, respectivamente, de la turgescencia y plasmolisis celulares precitadas.

Además, observando que Roberto Hartig, Profesor de la Universidad de Munich, estudia con precisión admirable todo lo concerniente á la *estructura molecular de las substancias orgánicas y teoría micelar ó de las micelas*, que son la base de lo que se ha de explicar después, copio literalmente de su obra alemana, traducida al castellano por el sabio botánico Castellarnau (1), todo lo que sigue, pues con menos palabras no se puede decir más.

(1) Dr. Roberto Hartig, *Compendio de anatomía y fisiología de las plantas*, traducido del alemán por D. Joaquín M. Castellarnau: Madrid, 1906, página 1.ª y siguientes.

## FENÓMENOS FÍSICOS INTERNOS

**Estructura molecular de las sustancias orgánicas.—Teoría micelar.** —«No es posible que nos representemos de un modo claro la constitución anatómica de las plantas, sin estudiar antes ciertas propiedades de las sustancias de que están compuestas, pues los materiales que forman las células ofrecen los caracteres que no se encuentran en los cuerpos inorgánicos, y que es preciso conocer para adquirir una idea exacta sobre el nacimiento, la estructura, el crecimiento y la actividad vital de la célula.

»Es bien sabido que todos los cuerpos se componen de pequeñas partículas indivisibles que se llaman átomos, las cuales no se hallan en contacto inmediato unas con otras, sino separadas por espacios intermedios. Los átomos, aun en los cuerpos simples, no se presentan nunca aislados; están, por el contrario, siempre reunidos en grupos, por lo menos de dos en dos.

»Cuando cierto número determinado de átomos, de diversa naturaleza, se reúnen para formar un grupo de disposición definida en virtud de la fuerza de atracción que en ellos es inmanente, se origina una combinación química. Cuanto mayor sea esa fuerza de atracción ó de afinidad, más sólidamente se retienen unos á otros los átomos que forman la combinación, los cuales solamente pueden ser separados de ella por la acción de otros átomos cuya afinidad para con ellos sea mayor que la que los mantiene reunidos entre sí. En ese caso se dice que se produce una descomposición química. La parte más pequeña de una combinación atómica se llama molécula. El carácter de una molécula no está únicamente determinado por el número y naturaleza de los átomos que en ella se encuentran reunidos, sino también por la forma especial de su agrupación; y así se explica que sustancias distintas, aunque compuestas del mismo número de átomos y de la misma naturaleza, puedan transformarse fácilmente unas en otras por la sola modificación del sitio que los átomos ocupan dentro de la misma molécula.

»En muchas combinaciones orgánicas, las moléculas compo-

nentes están colocadas unas al lado de las otras de un modo indiferente y sin formar nuevas agrupaciones de carácter definido. Estas combinaciones son las que constituyen las sustancias orgánicas cristalizables, las cuales, en contacto con el agua, se disuelven, esto es, sus moléculas, una tras otra, se introducen entre las del agua disolvente, y esto sucede porque la fuerza de atracción del agua hacia las moléculas del cuerpo cristizable, es superior á la que existe entre ellas y las mantiene reunidas en forma de tal cuerpo cristizable. Cuando la disolución se satura, es decir, cuando se establece equilibrio entre la atracción de las moléculas del agua entre sí y la que se ejerce entre las del agua y las de la combinación cristizable, entonces cesa la disolución de la sustancia cristalina. Las disoluciones moleculares son difusivas, esto es, pueden atravesar las delgadas membranas celulares, porque sus moléculas son bastante pequeñas para que su paso sea posible por entre los intersticios que separan las partículas (micelas) que forman dichas membranas.

»En la mayor parte de sustancias orgánicas, las moléculas se reúnen nuevamente entre sí, dando origen á las *micelas* (1), que vienen á ser como los sillares de un edificio, en la constitución de las paredes celulares, del protoplasma, etc.

»Una micela (2) es una combinación de moléculas, tan íntimamente unidas entre sí, que no permiten que el agua penetre entre ellas; pero en el estado natural de las sustancias, cada micela de las que la forman está rodeada de una capa de agua. De igual manera que los sillares de un edificio no se tocan inmediatamente unos á otros, sino que están separados por una capa de mortero, las micelas están separadas también por sus cubiertas acuosas, y los espacios que entre ellas existen y que están ocupados por el agua envolvente, se llaman *intersticios micelares*. Cuando la sustancia pierde el agua por desecación, su volumen disminuye y se dice que *mengua*. Por el contrario,

(1) Nägeli introdujo la palabra *micelle* en el lenguaje científico en 1884, en su folleto intitulado *Mecanisch physiologische Theorie der Abstammungslehre*. El Dr. Ramón y Cajal, en sus *Elementos de Histología normal* (Madrid, 1895, pág. 153), dice *teoría de las micelas y teoría micelar*.—(N. del T.)

(2) La micela de la membrana celular es sinónima de *dermatosoma*, partícula ó elemento celulósico (véase págs. 33 y 34).

si se pone en contacto con el agua una sustancia seca compuesta de micelas, tiene lugar un proceso de absorción que se designa con el nombre de *imbibición*, el cual va siempre unido á un aumento de volumen ó *hinchazón* de la sustancia, que no debe confundirse nunca con la absorción capilar.

»Por *capilaridad* se entiende comunmente la penetración de agua ó de otro líquido en los pequeños espacios de la sustancia existentes con anterioridad y llenos de aire, en los cuales el agua reemplaza á éste, sin que por esto aumente el volumen del cuerpo. Cuando se introduce un trozo de madera en el agua, penetra ésta por capilaridad dentro de los vasos y desaloja de ellos el aire que contenían, sin que por eso la madera crezca ó se hinche; de igual modo que un ladrillo puesto en contacto con el agua, la absorbe con avidez á pesar de que no aumenta su volumen.

»El proceso de imbibición propio de las sustancias orgánicas, tiene lugar de distinta manera, puesto que el agua no pasa á ocupar espacios ya existentes, sino que éstos se van formando gradualmente á medida que el agua se va introduciendo por entre las partículas (micelas) de la sustancia. Aunque las micelas son impenetrables al agua, poseen, no obstante, para ella una fuerza de atracción tanto más activa cuanto más pobre es la sustancia en contenido acuoso, esto es, cuanto más exigua es la capa de agua que las envuelve. Si á una sustancia pobre en agua se la ofrece agua en estado líquido ó gaseoso, ó simplemente aire húmedo, la absorben las micelas colocadas más al exterior, y la introducen á los espacios intramicelares que en su consecuencia se forman, obligando á dichas micelas á separarse unas de otras, con lo cual la sustancia aumenta de volumen y se produce su hinchazón. Las micelas más interiores, que no poseen aún capa acuosa envolvente, toman el agua de las más exteriores, las cuales, para reparar la pérdida, continúan absorbiéndola del medio ambiente exterior. Y así se continúa este proceso en presencia de agua suficiente, hasta que la fuerza de atracción de las micelas para el agua se ha igualado en toda la sustancia, y tiene el mismo valor que el de la atracción de las micelas entre sí. La atracción que las micelas ejercen sobre el agua es muy activa y desarrolla una fuerza poderosa que se pone de manifiesto en la gran presión que la madera es capaz de ejercer cuando se

hincha. El momento de la saturación es muy diferente, según la naturaleza de las substancias, y recorre una extensa escala, desde la disolución completa á la hinchazón gelatinosa, y el pequeño aumento de volumen de las membranas compactas.

»Entre las diferentes substancias orgánicas que experimentan esos cambios de volumen de un modo muy variable (mengua é hinchazón), tienen para nosotros especial interés las maderas. La substancia que forman las paredes de los elementos histológicos de la albura, cuando pasa del estado de saturación al de sequedad completa, disminuye su volumen en la proporción de 3 á 2; y al contrario, cuando se hincha, toma nuevamente una cantidad de agua igual á la mitad de su volumen en seco. Parece, no obstante, que eso último no se verifica con entera exactitud, pues la substancia leñosa completamente desecada no puede absorber de nuevo una cantidad de agua igual á la que por desecación ha perdido. Las diferencias que presentan las diversas maderas en cuanto á su merma é hinchazón, son muy pequeñas; pero cambian de un modo notable en el paso de la albura á duramen. Según más adelante veremos, cuando se forma el duramen se impregnan las paredes de los elementos histológicos de varias substancias (taninos, resinas, substancias colorantes, etc.), las cuales penetran y ocupan los intersticios micelares y desalojan de ellos el agua que los llenaba; y por eso, cuando el duramen se seca, las micelas de las paredes leñosas no pueden acercarse tanto unas á otras, como sucede en la albura, y su mengua es mucho menor que en ésta. Debe también tenerse en cuenta que la mengua del cuerpo leñoso, compuesto de diversos elementos histológicos, no es igual á la mengua de la substancia que constituye sus paredes, pues depende, no sólo del espesor de dichas paredes, sino también de las distintas clases de tejidos que entran en su composición.

»Las dimensiones de las micelas son tan exiguas, que ni aun con los mayores aumentos de que hoy podemos disponer llegan á ser visibles; y con respecto á su forma, no es posible hacer otra cosa que suposiciones. Debemos, no obstante, aceptar que no son esféricas, sino más bien prismáticas ó paralelepípedas, porque cuando la substancia se seca por completo, deben juntarse unas á otras de tal modo, que entre ellas no quede ningún interespacio, pues si éstos existieran, se llenarían de aire y ocasionarían una perturbación en la constitución esencial de la substancia. Ya estudiamos la acción de la luz polarizada

sobre las paredes celulares y los gránulos amiláceos; y en los fenómenos que entonces se nos presentaron, hallamos una corroboración de este modo de ver respecto á la forma de las micelas» . . . . .

. . . . . «y también indican algo respecto á esta forma las diferencias entre los valores de la mengua y de la hinchazón de las maderas, según se midan éstas en las direcciones longitudinal, tangente ó radial. Es presumible que los ejes longitudinales de las micelas estén situados según el eje longitudinal de los elementos histológicos, y de este modo se explica la menor merma de la madera en sentido longitudinal, pues en éste el número de espacios intermicelares sería mucho menor que en la dirección perpendicular al eje. Debe, no obstante, no echarse en olvido, al hacer esas deducciones, que la estructura anatómica, y particularmente el número y grosor de los radios medulares, ejercen también una notable influencia en el modo y cantidad de la mengua de las maderas.»

Ahora bien: para formarnos idea clara, en vista de lo anteriormente expuesto, del mecanismo funcional de las células, preciso es que nos fijemos un momento en dos fenómenos fisiológicos, que son los que por diósmosis ocasionan la turgencia celular: nos referimos á la *absorción* y *circulación*.

**Absorción.**—Por absorción de una substancia se entiende su penetración por *difusión* en el interior del cuerpo. Es, por consiguiente, una función por medio de la cual penetran en el interior de las células los fluidos que les rodean. Y como estos pueden ser *líquidos* (absorción de jugos terrestres) y *gaseosos* (absorción de oxígeno, anhídrido carbónico y nitrógeno), de cada uno de ellos nos vamos á ocupar brevemente.

Este mutuo cambio de substancias (líquidas ó gaseosas) con el medio exterior, no sólo se regula por las leyes de *ósmosis* y *difusión*, sino además por la *fuerza osmótica del protoplasma*; pues en todas las manifestaciones funcionales juega importantísimo papel su actividad vital.

Sabemos que la *difusión* es la fuerza de penetración ó la corriente ó cambio que se establece entre fluidos de diferente densidad, hasta conseguir el equilibrio de ambos. Y *ósmosis* el caso particular de la difusión, ó sea la difusión á través de los



intersticios moleculares ó micelares de la pared permeable ó membrana celular.

La *fuerza osmótica del protoplasma* es la doble difusión que de un modo centrípeto ejerce la masa viva á través de la membrana y jugo celulares; ó también la potente atracción que el protoplasma ejerce sobre las substancias aptas de ser absorbidas y que rodean á la planta, á pesar de la energía con la cual son retenidos por capilaridad los jugos terrestres que se hallan en los intersticios de las partículas sólidas del suelo. De modo que cuanto mayor es la resistencia que opone el suelo, tanto más intensa es la fuerza osmótica del protoplasma.

Sin esta acción poderosa del protoplasma, el total de substancias absorbidas sería insuficiente para el entretenimiento de la vida de la planta, á juzgar por *la lentitud con la cual se opera la difusión* entre los líquidos puestos en contacto.

Las sales minerales (nitratos), los ácidos orgánicos, etc., y en general todas las substancias *crystalizables*, son muy osmóticas; por el contrario, las materias albuminoideas (albúmina, caseína...), y algunos principios ternarios (goma, glucógeno...), que llevan la denominación de *coloides*, no lo son, á no ser que sufran previamente la digestión hidrolítica con ayuda de los fermentos.

Se llama *endósmosis* la difusión de líquidos y materias disueltas que se establecen á través de la membrana celular del exterior al interior, y *exósmosis* el fenómeno inverso, por el cual una substancia intracelular sale al exterior. El conjunto de los dos fenómenos recibe actualmente el nombre de *diósmosis*.

**Absorción de agua y substancias disueltas.**—El agua destilada, en virtud de las leyes diosmóticas y difusivas, atraviesa la membrana celular y se distribuye en el protoplasma; mas una vez saturado éste de dicho elemento, el equilibrio se establece y cesa la absorción. Si el sér es pluricelular, los líquidos continúan caminando de célula á célula en las profundidades de los tejidos hasta la saturación respectiva.

Si la planta no consume agua ó no expele la que tiene (plantas sumergidas adultas), no hay absorción de líquido, y, por tanto, no crece. Pero si el equilibrio se rompe, los fenómenos diosmóticos continúan, y la cantidad de agua absorbida mide en todo momento la proporción del consumo celular.

Mas puede suceder que aun saturada y no gastada el agua por la célula, ésta, sin embargo, se halle en contacto de un nuevo líquido, llevando en disolución una sal cualquiera; en cuyo caso: ó la célula está provista en cantidad suficiente de la sal en cuestión, ó no. En el primer sentido, no habrá absorción por la saturación de ambas substancias; en cambio, en el segundo, la materia ó sal disuelta atravesará la membrana y se incorporará al protoplasma en virtud de la fuerza osmótica desenvuelta por éste, la correspondiente á las sales en disolución, y las respectivas á la membrana celular.

En fin, una vez establecido el equilibrio, puede ocurrir: 1.º Si la substancia incorporada no es gastada en el período asimilador, el equilibrio se conserva sin que nuevas introducciones de materia lo perturben. 2.º Pero si la substancia es susceptible de combinarse en la célula con otros principios, descompuesta ó transformada, desaparece, y roto el equilibrio, la absorción continúa mientras haya cantidad suficiente de dicha sal para el consumo.

El agua puede contener en disolución varias substancias, como es el caso de las aguas naturales; y en estas condiciones, cada una de ellas en la absorción se comporta como si fuera ó estuviera sola.

Cada vez que una célula se satura de alguna substancia, la absorción de ella cesa como consecuencia; esto explica que en ocasiones el agua sola sea absorbida, y las substancias disueltas no. En la naturaleza, las condiciones de saturación del agua y de las diversas substancias en disolución, se realizan en un momento, cesan rápidamente en otro, en cuyo caso todos los elementos de la disolución son absorbidos en conjunto, conforme á las leyes osmóticas y difusivas. Mas como cada uno de ellos puede ser absorbido en mayor cantidad que los otros, pues todo depende del mayor gasto ó consumo que de dicho cuerpo tenga lugar en la célula, he aquí el fundamento racional de la pretendida facultad *electiva* de la célula.

En resumen: toda célula toma de la disolución el elemento ó elementos que utilice para su gasto diario.

Las consecuencias de este mecanismo son: 1.º Ciertas substancias contenidas en cantidades infinitesimales en el medio exterior, pueden acumularse en la célula; mientras otras que se hallan abundantemente en la disolución, apenas el análisis

puede denunciarlas en la célula vegetal. En efecto: la fuerza osmótica del protoplasma depende de su estado de agregación, el cual varía mucho de una célula á otra; de aquí que aun cuando el medio ambiente sea el mismo para las dos, una misma substancia se acumula en una de ellas y falta casi por completo en la otra. Así, por ejemplo, hay plantas que se llaman *nitrófilas*, como la calabaza, trigo, avena, centeno, remolacha, borragíneas y labiadas, que colocadas en su juventud en terrenos estériles (arena silíceas) y desprovistas de nitratos, se cargan, sin embargo, de estas sales, que se reconocen en microquímica por el color azul que toman en presencia de la solución sulfúrica de *difenilamina*. En las condiciones normales de vegetación, el jugo de estas plantas, á poco nitrato que contenga el suelo, se saturan bien de esta substancia. Otras plantas reciben el nombre de *thiófilas*, como las Papilionáceas (altramuz, judía, etc.), por la avidez con que absorben los sulfatos.

2.º Existen entre los compuestos químicos que constituyen el alimento externo de las plantas, dos substancias que, á pesar de ser necesarias á la vida, y, por tanto, consumidas por las células, su absorción por éstas es accidental. Una de ellas es la cal, que forma con el ácido oxálico producido por casi todas las plantas un compuesto insoluble (oxalato de cal) que cristaliza en las células. Si nuevas absorciones de cal se efectúan, otras tantas neutralizaciones de ácido oxálico se ejercen en las plantas, y he aquí la razón de que se acumule el oxalato de cal en las células de los vegetales en proporciones considerables. Lo mismo se puede decir de la sílice que se fija en las membranas celulósicas (gramíneas, equisetos), sin perjudicar al desarrollo de la planta.

La temperatura tiene cierta influencia sobre el fenómeno de la absorción. Así, por ejemplo, si las raíces de una calabaza se colocan en un suelo cuya temperatura sea de 3 á 5°, la absorción del agua no compensa el consumo que necesita dicha planta. De aquí que se regule el fenómeno osmótico y difusivo de los vegetales en general entre un límite inferior (mínimum), otro superior (máximum), y entre los dos el más favorable, ó sea un *óptimum* de temperatura.

La absorción de jugos en los seres pluricelulares se efectúa por la raíz, ó por la porción subterránea de la planta (rizoides de musgos, de líquenes). Dichos jugos consisten en las plantas

verdes, en disoluciones acuosas de sales minerales poco concentradas, acompañadas además en las plantas sin clorofila de principios húmicos ó sustancias orgánicas en descomposición.

Ahora bien: como á la absorción de agua y sustancias disueltas ha de corresponder, como es natural, eliminación ó desprendimiento por las células vegetales de los productos que no son útiles á la vida de la célula y que son resultado del proceso metabólico celular, y como también puede suceder que, en razón al medio en que se encuentran las células, arrojen por exósmosis materiales nutritivos que en reserva guardaban para ulteriores beneficios, vamos á demostrar con ciertos ejemplos la existencia de dichos fenómenos, sin perjuicio de detallar algunos más cuando estudiemos con detenimiento las secreciones y excreciones celulares.

Consideremos una semilla, por ejemplo, bien provista de sustancias nutritivas. Si se sumerge en agua, observaremos que ésta disuelve y acumula poco á poco hasta saturarse de las distintas materias alimenticias que en reserva la semilla tenía depositadas; y si renovamos el agua varias veces, la exósmosis continúa hasta depurar por completo el contenido seminal.

Sabemos que el *Saccharomyces cerevisiæ*, en vida anaerobia, arroja al líquido en que se halla el alcohol que produce, y cuyo alcohol en vida aerobia posiblemente sería oxidado y transformado en aldehido etílico ú otros productos.

El *Bacillus amylobacter*, también anaerobio, desprende ácido butírico y otros productos.

El *Micrococcus aceti*, aerobio, oxida el alcohol que le sirve de alimento y, transformado, lo expele bajo la forma de ácido acético.

Y finalmente, todos los seres unicelulares y pluricelulares transforman con sus fermentos las sustancias alimenticias y originan productos diversos, de los cuales unos son asimilados y otros eliminados al exterior.

**Absorción de gases.**—Diferentes gases al estado libre (atmósfera) ó en disolución en el agua, rodean á las plantas. La absorción de todos ellos se verifica penetrando á través de las membranas celulares, disolviéndose en el citoplasma y jugo celular, y caminando por todo el cuerpo de la planta según las leyes de ósmosis y difusión si los seres son pluricelulares. Los gases

pueden también penetrar por los estomas de los seres pluricelulares y formar una atmósfera interna en relación directa con el aire exterior.

De otra parte, los gases encerrados en el interior de las células salen al exterior atravesando las membranas celulares, y después, si los seres son pluricelulares, por las aberturas de los estomas.

Esta absorción y emisión gaseosas son fenómenos físicos que se realizan para distintos gases en la misma planta, según la naturaleza de ésta y las propiedades osmóticas para con aquéllos, y para diversas plantas y un solo gas, según la naturaleza específica de ellas, y los contenidos de sus células constitutivas. Una vez conseguido el equilibrio osmótico, la absorción gaseosa cesa.

Pero á partir de este instante, y análogamente á lo dicho para la absorción de agua y substancias disueltas, dos casos pueden suceder: ó bien el gas absorbido no tiene acción química en el proceso asimilativo celular, y como no es gastado el equilibrio se conserva; ó bien el gas se fija en el protoplasma, combinándose con diversas substancias, y entonces el equilibrio difusivo es destruido. Para restablecerlo, es forzoso que nuevas cantidades de gas sean absorbidas.

Viceversa, si el gas emitido no es producido de nuevo en las células, no tienen lugar nuevas emisiones. Mas si, por el contrario, la formación de dicho gas continúa en el laberíntico proceso asimilativo, el equilibrio se rompe, y para restablecerse, marcha la substancia gaseosa originada hacia la periferia de la membrana celular y atravesándola se desprende en el medio exterior. Se comprende, claro es, que dicha emisión continuará mientras dure la producción interna del gas en cuestión.

Los gases atmosféricos absorbidos por las células que más interesa conocer, son:

1.º *La absorción del oxígeno*, gas imprescindible para proveer á la *respiración*, que se efectúa por todas las superficies permeables del cuerpo. A la absorción de este gas corresponde recíprocamente la emisión de anhídrido carbónico. (Véase *respiración*.)

2.º *La absorción de anhídrido carbónico*, seguida de la *asimilación* de este gas, función propia de las células principal-

mente clorofílicas sometidas á la acción de determinadas radiaciones luminosas, es correlativa de una emisión de oxígeno. (Véase asimilación del carbono.)

3.º *La absorción del nitrógeno atmosférico, seguida también de su asimilación respectiva, obra exclusiva de microorganismos bacteroides que tienen su asiento en los tubérculos radicales de algunas Leguminosas (altramuz, alfalfa), y también de algunas algas verdes microscópicas del grupo Nostocáceas. (Véase asimilación del nitrógeno.)*

**Circulación intracelular.**—Con este nombre entendemos los distintos caminos que las corrientes osmóticas y difusivas siguen en el interior de las células, hasta conseguir entre los dos medios interno y externo, separados por la membrana celular, el equilibrio de substancias.

En las células aisladas, á medida que penetran, en virtud de las leyes osmóticas, el agua y substancias disueltas, se difunden en la masa protoplásmica, y en el jugo celular de las vacuolas posteriormente formadas, y de este modo son fácilmente utilizadas por la materia viva para elaborar con su trabajo metabólico los productos necesarios al entretenimiento de su vida.

Esta difusión no se opera desordenadamente, pues caminando los líquidos unos en otros en razón á sus diferentes densidades, siguen direcciones distintas, pero con regularidad, aun cuando no existan vasos ó conductos que las limiten, y de un modo análogo á como lo hacen las corrientes marinas en el seno de los Océanos. Sólo de este modo todas las partes del conjunto intracelular se ponen en comunicación con el exterior y absorben de la fuente alimenticia las substancias que constantemente necesitan para conseguir el equilibrio osmótico. Pero como éste nunca llega, la absorción continúa y la circulación intracelular no se interrumpe, en razón á la poderosa atracción ó fuerza osmótica del protoplasma por aquel ó aquellos elementos alimenticios que constantemente consume para compensar el gasto que de ellos hace en su proceso asimilativo.

Es muy posible, al parecer, que dichas corrientes difusivas sigan el camino emprendido por el movimiento protoplásmico, bien rectilíneo, transversal ó circular, y no menos probable, además, que auxilién en cierto modo á los cambios de lugar manifestados en los corpúsculos citoplásmicos (plasmitos), nú-

cleo y productos elaborados (almidón), teniendo en cuenta que las corrientes osmóticas por sí y por el alimento que en sí llevan son manantiales de fuerza ó energía suficientemente intensos para contribuir en parte á dicho fin mecánico.

Mas si la afluencia de jugos en el interior de la célula es considerable ó la cantidad de masa protoplásmica es excesiva, la membrana celular distendida llega al límite de su elasticidad, y ocurre entonces una de dos: ó se disocia y rompe la membrana y se desparrama el contenido, ó, como sucede generalmente, se distribuye la masa protoplásmica entre otros copartícipes similares nacidos de la misma célula, originando con ello el fenómeno fisiológico que más adelante estudiaremos en todas sus fases, con el nombre de citogénesis ó multiplicación celular.

En los seres pluricelulares, la circulación adquiere mayor importancia en razón á la división del trabajo fisiológico.

En todos ellos la *circulación intracelular* tiene lugar del mismo modo. Pero si los vegetales no son vasculares y, por tanto, no presentan raíces (Talofitas, Muscineas), observamos además la *circulación anacitódica*, ó sea la que se establece á través de las células, pasando endosmóticamente los jugos nutritivos de unas células á otras. Y si los seres pluricelulares son vasculares ó con raíces (Criptógamas vasculares, Fanerógamas), á las dos circulaciones antedichas se suma la *circulación capilar*, por la cual reemplazan los jugos exclusivamente al aire contenido en los estrechísimos espacios ó conductos vasculares.

El fenómeno en líneas generales se verifica del siguiente modo. A medida que los pelos radicales ó las células que constituyen la capa externa de la raíz se llenan de jugos, aumentando su volumen y tendiendo al estado de equilibrio, las células de la capa subyacente, no suberizadas todavía, se empanan á su vez por endósmosis. Desde este momento las células superficiales sufren una disminución de grosor marcada por una contracción elástica de sus paredes distendidas, que bien pronto vuelven á sus hinchazones primitivas con nuevas absorciones de jugos terrestres. Análogamente, la tercera capa de células impide se realice el equilibrio difusivo de la segunda, y atravesadas todas las capas corticales de esta manera, se llega al cilindro central, donde se encuentran los vasos leñosos,

por los cuales sube el líquido (savia ascendente) atraído por el gasto continuo de las yemas y las hojas, asegurando así la continuidad del fenómeno en la corteza.

Una vez en las hojas y partes verdes del vegetal, se transforma, mediante los procesos de asimilación y desasimilación, en savia descendente, siguiendo ésta su camino preciso por los vasos cribosos del líber para terminar en el meristemo radical. Esta es, expuesta á grandes rasgos, la circulación principal de las plantas vasculares, que en las obras de anatomía y fisiología vegetales puede estudiarse con detenimiento.

**Fenómenos diosmóticos: Turgescencia, plasmolisis.** — Entre los fenómenos diosmóticos que tienen lugar en las células como consecuencia del cambio de substancias con el medio exterior, estudiaremos principalmente la *turgescencia* y *plasmolisis*, ó en otros términos, la hinchazón y contracción respectivamente de las masas intracelulares.

La *turgescencia*, estado particular de las células jóvenes, como lo son, por ejemplo, las que se encuentran en el vértice vegetativo de las yemas, ó en los meristemos terminales (radical y caulinar), es la resultante entre la presión centrífuga determinada por el aumento de volumen de la masa contenida, y la reacción elástica antagonica de la membrana celular continente, á consecuencia del flujo de agua y substancias disueltas en el interior de la célula.

Sabemos que en el jugo celular se hallan en disolución gran diversidad de substancias, como las sales inorgánicas que la célula absorbe del suelo, las orgánicas procedentes de las células vecinas y las substancias que se han formado dentro de ella en el proceso metabólico celular. Todas ellas son de dos clases: *difusivas*, ó sea capaces de pasar á través del cuerpo protoplásmico y de la pared celular para salir al exterior y penetrar del mismo modo en otras células, y no *difusivas*, ó incapaces de atravesar el cuerpo protoplásmico.

Ahora bien: si una célula vegetal se pone en contacto con el agua pura, se establece un cambio osmótico entre el jugo celular y el medio exterior. Las substancias difusivas serán atraídas fuera de la célula para mezclarse con el agua, y las no difusivas absorberán con avidez el agua exterior hacia dentro de la célula, ocasionando un aumento de volumen.

Mas á causa del gran poder osmótico del protoplasma por



las substancias no difusivas de que está constituido y del gasto que constantemente hace de elementos nutritivos procedentes del exterior para fabricar en su metabolismo todos los productos conocidos dentro de la célula, la fuerza osmótica del contenido celular (protoplasma y jugo celular) se acentúa, y la solución acuosa nutritiva, llamada *savia*, es absorbida energícamente por ósmosis á través de la membrana celulósica y de la capa hialina periférica del protoplasma (dermatoplasma).

De este flujo y acumulación de agua y de principios asimilables en el seno de las vacuolas resulta, en el interior de la célula, un aumento de volumen de la masa protoplásmica por asimilación, y, por consiguiente, una presión cada vez mayor que se aplica contra la membrana protoplásmica (dermatoplásmica) y de ésta á la membrana celular: la cual se distiende todo lo posible mientras lo permitan principalmente su elasticidad, que tiene su límite natural, de una parte en la cohesión de las micelas de celulosa ó dermatosomas, y de otra en la resistencia de las células adyacentes ó contiguas.

Dicha presión centrífuga y radial del contenido celular ó *tensión positiva*, está equilibrada con la reacción elástica, antagónica y tangencial, operada en la membrana celular ó *tensión negativa*; y á la resultante de estas dos fuerzas, ó estado particular de tensión ó hinchazón que manifiesta la célula en este caso, se da el nombre de *turgescencia* ó *turgencia celular*.

Se reconoce que las células están en estado turgescente, cuando el protoplasma rellena por completo la cavidad celular ó se encuentra en contacto de la pared impulsado por la presión del jugo (fig. 199).

Una de las causas que contribuyen á mantener la turgencia de la célula en vía de crecimiento (meristemas), es la energia con la cual retiene el protoplasma las substancias nuevamente absorbidas, circunstancia que, como es consiguiente, aumenta el poder osmótico del jugo celular. En efecto: si en el estado de vida latente sumergimos semillas maduras (trigo, judía) en el agua, observaremos que aminoran las substancias alimenticias en ellas contenidas, pues salen por exósmosis hidratos de carbono, ácidos orgánicos y diversas sales que se disuelven en dicho líquido; mas si las colocamos en el mismo medio, estan-

do en vida activa ó en franco período germinativo, cesa la exósmosis, y por endósmosis, en cambio, absorben del agua las sustancias necesarias para su desarrollo.

**a. Crecimiento superficial de la membrana como consecuencia de la turgencia.**—Gracias á la turgescencia que aumenta el volumen de la célula, la cubierta celular se distiende, separándose las partículas ó micelas celulósicas de que está constituida. Pero como nuevas partículas de celulosa (dermatosomas ó micelas celulósicas) son segregadas por el dermatoplasma, éstas se introducen é intercalan entre las antiguas, y aumentan de

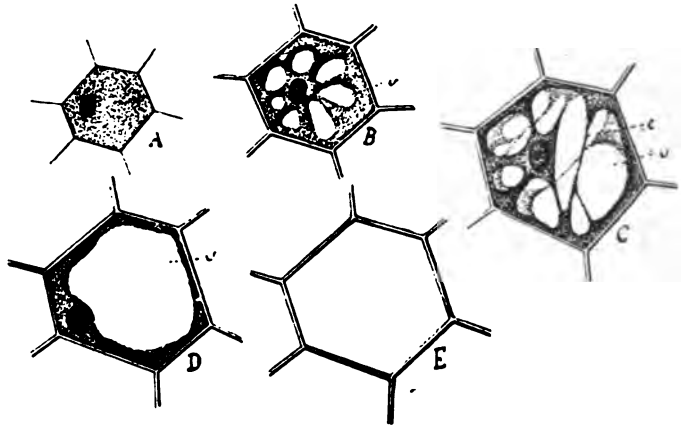


Fig. 199. —Células en estado turgesciente. —A, con el protoplasma sin vacuolas; B, C, con protoplasma y diversas vacuolas *v*; D, con protoplasma parietal y vacuola central *v*.

este modo el contorno de la célula, ó sea el *crecimiento de la membrana en superficie*.

No se limita la membrana en algunos casos á crecer sólo en superficie; á veces está llamada á espesar su membrana y *crecer en espesor* (véase pág. 38), en cuyo caso las nuevas partículas celulósicas segregadas por la capa protoplásmica hialina (dermatoplasma), se aplican sencillamente en el interior de la membrana ya formada, originando capas sucesivas que pueden llegar á obliterar la cavidad celular, como sucede en las células ó fibras esclerenquimatosas.

Es de notar que la producción de partículas de membrana

está estrechamente ligada á la desaparición progresiva del protoplasma, pues á medida que el espesamiento por *aposición* progresa, la masa protoplásmica se reabsorbe.

El crecimiento en realidad admite otras causas distintas á la turgescencia, ligadas principalmente á la constitución del protoplasma: por eso la turgencia es un fenómeno muy secundario en el crecimiento, pues todo depende de las actividades respectivas del protoplasma generador de la membrana, llamado *dermatoplasma*, y del productor principal de todas las sustancias en reserva ó *citoplasma*, ó en una palabra, y como luego se demostrará, de la masa viva fundamental denominada *protoplasma*.

En efecto: no existe forzosa proporcionalidad entre la tensión de turgescencia y la velocidad de crecimiento, porque zonas de la misma velocidad de crecimiento pueden ofrecer turgencias muy diferentes, y hasta puede suceder que el máximo de tensión corresponda frecuentemente á una región cuyo crecimiento en longitud haya terminado. Tan cierto es esto, que en la raíz de la judía, por ejemplo, no hay diferencia de tensión de turgescencia entre la zona en que el crecimiento en longitud ha terminado, y la que corresponde al alargamiento máximo.

**aa.** **Imbibición.**—En las células vivas de paredes más ó menos espesas y resistentes, y, por consiguiente, poco extensibles (células esclerosas, fibras y vasos en vías de desarrollo), la turgencia desempeña un papel muy accesorio en el crecimiento, interviniendo en su lugar la *imbibición de la membrana*.

El agua, penetrando en la membrana, desune las moléculas y asegura análogamente la interposición de partículas celulósicas nuevas formadas por el dermatoplasma entre las antiguas. Si este protoplasma desaparece, el crecimiento del elemento histológico cesa, sea fibra ó vaso.

La imbibición es, por tanto, una causa de dilatación ó de contracción de la membrana, según que la cantidad de agua incluida en ella aumente ó disminuya, como consecuencia de presiones ó tracciones sobre los tejidos vecinos, cuya tensión por esto mismo puede modificarse.

**aaa.** **Osmómetro turgesciente.**—Una célula turgesciente es como un endosmómetro cerrado, en el que los productos ab-

sorbidos no tienen salida, y, por lo tanto, tienen que distender las paredes.

Para demostrarlo, nos serviremos de una experiencia fácil de realizar. Al efecto, se tapa una de las dos bocas de un tubo de cristal corto y ancho con una membrana permeable y elástica (vejiga); se llena completamente de agua bien azucarada, de agua salada, de gelatina azucarada ú otra substancia osmótica cualquiera, y se cubre el extremo abierto con otra porción de membrana. Construida de este modo esta especie de célula artificial, se abandona en un recipiente de cristal lleno de agua. Las dos membranas, al poco tiempo, son rechazadas hacia fuera y forman poco á poco dos casquetes cada vez más convexos por la presión que ejerce el agua absorbida; y si la fuerza osmótica, debilitada paulatinamente por exósmosis del azúcar ó sal, es suficientemente intensa, puede suceder entonces que se rompan las dos cubiertas. Fácilmente se comprende también que si antes de la rotura se perfora con un estilete ó aguja una de las dos membranas, se proyectaría hacia el exterior un filete de líquido.

El contenido azucarado ó salino es comparable en este caso al protoplasma celular, pues, análogamente á éste, ejerce poderosa atracción sobre las partículas alimenticias de los jugos exteriores reteniéndolas enérgicamente en la célula artificial.

Sin embargo, toda célula viva asociada á otras constituyendo un tejido, no puede libremente obedecer á las presiones interiores por la resistencia que oponen las células contiguas: de aquí resulta que en los parénquimas en vías de crecimiento (meristemas terminales radical y caulinar), las células de que están constituidos adquieran formas poliédricas y se redondeen únicamente al nivel de los meatus ó lagunas. Mas es suficiente que la presión soportada por la célula sobre una de sus caras se anule, para que inmediatamente se desarrolle de este lado. Esto tiene lugar principalmente en las células parenquimatosas contiguas á los vasos leñosos, cuando éstos han terminado de conducir á la savia ascendente; dichas células entonces, atravesando las puntuaciones de los vasos como puntos de menor resistencia, forman una especie de hernia en la cavidad vascular, y según van penetrando caen al fondo del vaso, recibiendo el conjunto de éste y aquéllas, en histología vegetal, el nombre de *thyllos*.

**Células artificiales.**—En lugar del osmómetro turgescente cuyas paredes de cristal eran rígidas é inextensibles, pueden construirse células con cubierta elástica y permeable, en un todo comparables físicamente á las células vivas.

Para ello, dejamos caer en una disolución de tanino al 2 por 100 una gota espesa de gelatina, sostenida previamente en el extremo de un agitador para que se deseque. Mientras las porciones superficiales gelatinosas se disuelven en el agua, entran en combinación con el tanino y forman una *membrana insoluble de tanato de gelatina* que envuelve completamente la gota incluída.

Esta membrana es permeable al agua, y la ósmosis provocada por la gelatina la hincha poco á poco. Dicha membrana, sin embargo, no adelgaza porque nuevas partículas de tanato se precipitan, á medida que las antiguas se separan por turgencia, y se colocan del mismo modo que las partículas de celulosa se depositaban en la membrana celular en vía de crecimiento.

La única diferencia física que en este proceso artificial se nota comparada con el natural, es que en el primer fenómeno las partículas tánicas proceden de fuera, ó sea de la solución tánica, mientras que en el segundo los dermatosomas ó partículas celulósicas proceden de dentro, es decir, de la porción protoplásmica denominada dermatoplasma (véase pág. 34).

Modernamente, siguiendo los últimos experimentos de Leduc (1), pueden fabricarse en los laboratorios células artificiales, que manifiesten en cierto modo, á semejanza de las plantas acuáticas, los fenómenos simulados de germinación, crecimiento y ramificación.

Para la construcción y cultivo de tan ficticias como ideales células, se opera del modo siguiente:

De la masa granular obtenida mezclando dos partes de sacarosa, una de sulfato de cobre y el agua necesaria para formar dicha pasta, se separa un gránulo de 1 mm. á 2 mm. de diámetro, el cual, sembrado en una solución acuosa que contenga 2 á 4 por 100 de ferrocianuro de potasio, 1 á 10 por 100 de cloruro de sodio ú otras sales y de 1 á 4 por 100 de gelatina, se desenvuelve como una semilla en un tiempo que varía de algunas horas á algunos días según la temperatura. Dicho gránulo, en estas condiciones, se rodea de una membrana de ferrocianuro de cobre, y como es permeable al agua y á ciertos iones é impermeable al azúcar en ella encerrado, contribuye así á una gran presión osmótica que determina la absorción y el crecimiento.

Ahora bien: si el líquido alimenticio se halla esparcido sobre una

(1) M. Stéphane Leduc, *Culture de la cellule artificielle*. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (26·Noviembre 1906), pág. 842.

placa de vidrio, el crecimiento sólo se realiza en dicho plano horizontal; mas si el cultivo se establece en un tubo de ensayo, entonces el crecimiento se verifica horizontal y verticalmente, dando lugar, cuando los tallitos sobresalen del nivel del líquido, á ramificaciones ó apéndices laminares que, simulando hojas, sobrenadan en la superficie del agua, del mismo modo que las plantas acuáticas.

Más aún: toda célula artificial construída del modo antedicho, puede en ciertos casos originar de 15 á 20 tallos verticales que lleguen á alturas de 25 á 30 cm., y que ostenten las formas más caprichosas, bien simples, ora ramificadas y con apéndices laterales (hojas, espinas) ó terminales (redondeados, piriformes, umbeliformes, espiciformes, zarcillos, etc.), según sea la composición del cultivo y las condiciones físicas del crecimiento.

Pero no termina aquí la pretensión de Leduc, pues combinando estas ilusiones físicas, consideradas como fuerzas, con las funciones esenciales de la vida, y sirviéndole de fundamento la particularidad de hacerse sensibles dichas células artificiales á los venenos, así como el osmotropismo y termotropismo, es decir, la determinación de la dirección y el crecimiento por las diferencias de presión osmótica y temperatura, concluye afirmando que en estas células se observan los mismos fenómenos que en las naturales, y, por tanto, que es un hecho la explicación con argumentos físicos de *la nutrición por intususcepción, la organización y el crecimiento* de los seres.

Estas conclusiones tan atrevidas han sido recientemente rebatidas por Gaston Bonnier (1) con elocuentes argumentos, y á tan autorizado criterio subordinamos los comentarios que pudieran hacerse.

**Fenómenos de turgencia y de imbibición.**—Los líquidos menos densos como el agua, al penetrar, en virtud de las leyes de ósmosis y difusión, en las células que contienen substancias más densas, provocan fenómenos de turgencia de todos conocidos.

Se sabe, por ejemplo, que diversas semillas (lino, mostaza, zaragatona) encierran en sus células epidérmicas masas espesas de *mucilago* apoyadas interiormente contra la pared externa, que rellenan más ó menos completamente la cavidad celular. Colocadas estas semillas bajo la acción continuada del agua, la acumulación de este líquido, provocada por endósmosis del mucilago, ocasiona en la célula la distensión de la pared libre hacia el exterior. Pero es el caso que, á pesar de ha-

(1) Gaston Bonnier, *Sur les prétendues plantes artificielles. Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (14 Enero 1907), pág. 55.

llarse cutinizada esta porción libre de la epidermis, la presión interna de turgencia es tan considerable, que acaba por romperla: el mucílago entonces, más acuoso y pegajoso, se esparce hacia fuera, y las semillas se aglutinan en un conjunto gelatinoso.

La *exudación de néctar* de las flores es también un efecto de la turgencia parenquimatosa, en el punto donde se produce la emisión (nectarios); y por la misma causa se origina la dehiscencia de algunos frutos carnosos y elásticos, como los cohombrosillos amargos (*Ecballium elaterium* ó *Momordica elaterium*).

En cuanto á los fenómenos provocados por las variaciones de imbibición, se pueden citar la reviviscencia de la Rosa de Jericó (*Anastatica hierochuntina*), la dehiscencia de las anteras, y la de los diodangios (esporangios) de las Criptógamas vasculares.

**Variaciones de turgescencia.**—En toda planta, la tensión de turgencia de una célula varía con su edad y con el tejido al cual pertenece; y en tesis general, aumenta con la concentración de los jugos interiores, y disminuye y anula si la mayor densidad corresponde á los jugos exteriores.

Si consideramos, por ejemplo, una célula elaborando activamente glucosa á expensas del anhídrido carbónico del aire con el concurso de la clorofila y radiación solar, y suponemos también que aquel principio lo retiene almacenado para contribuir á la fabricación de otros productos por el protoplasma, la turgencia aumentará con la absorción del agua procedente del exterior. Este mismo efecto se produce con la sacarosa, siempre que se verifique la interversión de dicha substancia durante el fenómeno; pues cada molécula de sacarosa da origen á dos moléculas de glucosa, cada una de las cuales aisladamente tiene el mismo poder osmótico que una molécula de aquélla.

Si, por el contrario, dicha célula engendra ácido oxálico en su proceso nutritivo, como las sales cálcicas del jugo le precipitan al estado de oxalato de cal cristalizado, la tensión de turgencia disminuirá, porque dicho ácido osmótico, por naturaleza, no puede, en forma de oxalato, tomar parte alguna en la endósmosis.

Para comparar entre sí las *tensiones de turgencia* de las células de un tejido en los diversos estados de su desarrollo, es

preciso sumergirlo en una disolución osmótica conocida, como nitró ó cloruro de sodio, regulando su concentración de modo que pueda conseguirse la *anulación de la turgescencia*, que se reconoce por el comienzo de la concentración de la masa protoplásmica.

Para medir la intensidad turgente en los seres pluricelulares, se destacan de los vegetales los brotes más jóvenes y frescos de 1 á 2 mm. de diámetro y 100 mm. de longitud.

Supongamos que se elige, por ejemplo, un vástago caulino de la planta *Lonicera tatarica*. Si trazamos á lo largo de él y con tinta china rayas que equidisten 5 mm., observaremos que sumergido por espacio de veinticuatro horas en una disolución de sal común al 10 por 100 se plasmoliza completamente, y la contracción producida se determina por medio de una regla dividida en milímetros.

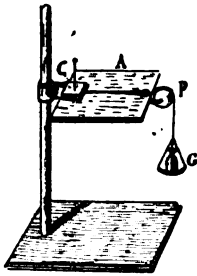


Fig. 200. — Aparato para determinar la intensidad de la turgescencia.

Mas si queremos determinar con exactitud el esfuerzo que se necesita para que recobre el largo que tenía antes de plasmolizado, nos serviremos del aparato representado en la figura 200. Para ello se dispone sobre la lámina horizontal de madera A, y mejor de corcho, el objeto en observación, de modo que la extremidad más delgada se recubra de un trozo de

corcho C que se fija por medio de una aguja; el extremo opuesto más grueso se arrolla con un hilo que, después de hacerle pasar por la garganta de la polea P, se destina á sostener el platillo G. Cargando éste con pesos hasta que la distancia que separe las rayas alcance la longitud de 5 mm. como antes de la plasmolisis, el efecto producido será semejante al que la naturaleza desenvuelve por turgescencia.

Para evaluar la intensidad de ésta, supongamos háyanse necesitado 11,34 gramos para recobrar la longitud. Sabemos que si el diámetro de un tallo es de 1 mm., el área de la sección circular  $\pi r^2$  equivale á 0,785 mm. cuadrados, y como es conocido por Física que á un centímetro cuadrado, igual á 100 mm. cuadrados, corresponden 1.033 gramos de presión, un sencillo cálculo determina que á 0,785 mm. corresponden 8,10 gramos. Y como se han necesitado 11,34 gramos para



que el vástago caulino adquiera la longitud primitiva, infiérese que en este caso particular el valor de turgescencia equivale á 1,4 atmósferas.

En otros ejemplos se calcularía que la intensidad de turgencia puede alcanzar á 6,5 atmósferas; sin embargo, no es frecuente que llegue á este extremo.

**Plasmolisis.**—Se entiende con este nombre el fenómeno contrario á la turgescencia, es decir, aquél por el cual el protoplasma se separa de las paredes celulares y se concentra contraído en el interior de las células.

En general, toda célula en contacto de una disolución más concentrada que su jugo celular, pierde la turgencia, cede agua á la disolución exterior, y su protoplasma se separa de las paredes y entra en estado de *plasmolisis*.

Sumerjamos, por ejemplo, un corte fresco de raíz de remolacha algo grueso, ó que contenga varias capas de células intactas, en una disolución de cloruro de sodio. Para que la exósmosis del jugo celular empiece á manifestarse y produzca la disminución de turgencia, es evidentemente necesario que el poder osmótico de la solución salina sea algo superior á la del jugo: dicho resultado se obtiene con una solución de dicha sal al 3 ó 4 por 100.

En estas condiciones, y después de algunos minutos, observaremos en nuevos cortes que la capa periférica del protoplasma se separa irregularmente de la membrana celulósica contra la cual estaba aplicada, y á poco más que se concentre la solución salina, todo el cuerpo protoplásmico se concentra ó contracta en la cavidad celular.

Pues bien: este estado en que el cuerpo protoplásmico, todavía vivo, cesa de ser turgesciente, se dice protoplasma *plasmolizado* ó célula *plasmolizada*.

Se comprende fácilmente que mientras dura la plasmolisis de un órgano, cesa el crecimiento de éste, y si aquélla alcanza ciertas proporciones, sobreviene la marchitez, y con ella la muerte de las células del órgano considerado.

Los protoplasmas vivos en estado normal, ó plasmolizados, no absorben las materias colorantes (eosina) á causa de la impermeabilidad de su capa hialina periférica, y sólo tienen lugar, salvo raras excepciones (véase págs. 95, 96 y 99), después de muerto el protoplasma.

**α. Valor de turgencia.**—Si pasamos al agua pura todo corte que se ha plasmolizado en una solución salina al 4 por 100, se observa que el protoplasma contraído va distendiéndose y aumenta de volumen á proporción del agua absorbida, hasta unirse de nuevo á la pared celulósica.

Si el mismo tejido, según la edad, exige, para ser plasmolizado, una disolución salina al 8 por 100, se concluirá que su tensión de turgencia es doble de la precedente.

Experimentando de este modo, llegaríamos á determinar: que en todo ramo joven la *turgescencia máxima coincide generalmente con la velocidad máxima de crecimiento*.

Y habrá equilibrio osmótico ó *isotonia* cuando las fuerzas de los líquidos y sustancias disueltas en ellos, tanto del exterior como del interior de las células, tengan el mismo valor en cuanto á las presiones osmóticas que ejerzan, es decir, sean equivalentes.

**Isotonia.**—Carracido (1) explica satisfactoriamente el concepto que de esta palabra debemos tener en biología.

Dice así: «Las disoluciones que contienen, no pesos iguales de materias disueltas, sino igual número de moléculas, coinciden en el punto de congelación y ejercen la misma presión osmótica, por lo cual se denominan *isotónicas*, resultando que *isotonia* y *equimolecularidad* son términos equivalentes.

»Sin embargo, muchas disoluciones preparadas con la concentración correspondiente á los pesos moleculares de las sustancias disueltas, ejercen presiones osmóticas múltiples de las que debían ejercer según su concentración molecular.

»¿Cuál es la causa de esta anomalía?

»De la misma manera que ciertas sustancias, al vaporizarse, ocupan doble volumen del que les corresponde según el cálculo de su peso molecular por efecto de una disociación, tanto más frecuente cuanto más el vapor se rarifique, muchas se disocian al disolverse, multiplicándose entonces el número de las moléculas disueltas, y, por consiguiente, el valor de la presión osmótica.

»Según este punto de vista, en las disoluciones diluídas de las sustancias electrolizables, éstas se disocian separándose sus *iones*, ó sean los factores del compuesto en apariencia aislados por la corriente eléctrica, pero en realidad sólo transportados á los respectivos polos donde se acumulan.

(1) Carracido, *Química biológica* (compendio), pág. 17.

»El ionizarse las disoluciones en grados proporcionalmente inversos á su concentración, constituye un medio automático de defensa para la conservación de la normalidad osmótica de los líquidos orgánicos, como sucede en el plasma sanguíneo y en la savia, que al recibir nuevas cantidades de agua, restablecen inmediatamente su anterior concentración molecular por el aumento de los iones correlativo al del volumen de los líquidos, ó sea del espacio donde ha de difundirse la materia disuelta.

»Resulta, pues, que una disolución que respecto á otra debía ser *hipotónica* por haber sido preparada con un peso inferior al de la concentración equimolecular, puede convertirse en *isotónica* y hasta en *hipertónica*, por efecto de la ionización que multiplica el número de las moléculas constitutivas del cuerpo con el cual la disolución fué preparada.

»Los líquidos hipertónicos respecto á la masa protoplásmica, determinan la contracción de ésta dentro de la membrana celular, produciendo el fenómeno denominado *plasmolisis*.»

En lugar del cloruro de sodio, se pueden emplear como agentes plasmolizantes el nitro y otras sales, azúcares (figura 201), glicerina, etcétera, debiendo advertir que las concentraciones de dichas disoluciones para provocar la plasmolisis deben ser tanto mayores cuanto más débiles sean los poderes osmóticos de las sustancias empleadas. Así, por ejemplo, con la sacarosa, es necesario para iniciar el proceso

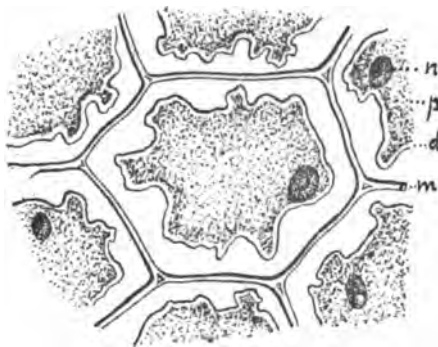


Fig. 201.—Protoplasmas plasmolizados por el agua azucarada.—*m*, membrana; *n*, núcleo; *p*, protoplasma; *d*, dermatoplasma.

plasmolítico de la remolacha, una disolución al 30 por 100, ó sea próximamente 0,1 de molécula ( $C_{12} H_{22} O_{11} = 342$ ), mientras que para conseguir el mismo fin basta en una disolución de cloruro de sodio el 4 por 100, es decir, 0,7 de molécula ( $Cl Na = 58,5$ ); por consiguiente, en concentración igual, el poder plasmolizante de la sacarosa es 7,5 más pequeño que el

de la sal común. Con el nitro, sería preciso para el mismo resultado una disolución al 7 por 100, ó sea 0,07 de molécula ( $NO_3 K = 101$ ).

Las cantidades de las diversas sustancias que, en cien partes, son necesarias para iniciar la plasmolisis en las células de los distintos tejidos, se denominan *concentraciones isotónicas*.

*αα. Efectos de la plasmolisis.* — En el proceso de la plasmolisis de un tejido, el agua del jugo celular se exosmotiza más rápidamente que los principios osmóticos que ella tiene en disolución. Sólo de este modo se comprende que las sustancias concentradas en el jugo, no sólo lleguen al punto de saturación, sino que en ocasiones cristalicen en el interior de las células.

Este fenómeno hemos podido ver comprobado recordando la cristalización de la inulina (véase pág. 168) y de los cristales de esparraguina, leucina, etc. (véase págs. 218 y 219), sin más que sumergir en la glicerina diversos cortes ó secciones de órganos vegetales en donde aquellos productos se encuentran con más abundancia.

## SECCION TERCERA

### FENÓMENOS QUÍMICOS

#### CAPITULO PRIMERO

CONEXIÓN Y DIFERENCIAS ENTRE LAS FUNCIONES  
ASIMILADORAS Y DESASIMILADORAS—ASIMILACIÓN: SÍNTESIS DE LOS  
HIDRATOS DE CARBONO Y DE OTROS PRODUCTOS TERNAARIOS;  
HIPÓTESIS ADMISIBLES

Con el nombre de *fenómenos químicos* se designan en fisiología los oscuros procesos ó transformaciones, según los cuales elaboran las células, con extraordinaria sencillez, infinidad de substancias destinadas á fines fisiológicos determinados.

Caracterizan á estos fenómenos, que atestiguan uno de los atributos más importantes de la vida: de una parte, la complejidad de los cambios materiales en el acto fisiológico más insignificante, y de otra, la lentitud y suavidad con que se producen en los organismos.

No extrañe que la ciencia camine muy lentamente en el esclarecimiento de estas transformaciones materiales, de suyo incógnitas y complicadas: son las células vegetales misteriosas retortas microscópicas, donde *in vivo* se resuelven los problemas biológicos con una maestría y delicadeza imposibles de imitar *in vitro* en el laboratorio. Y es que la obscuridad que notamos respecto á la concepción y formación de las múltiples substancias celulares, así como en la mayor parte de los fenómenos fisiológicos, descansa indudablemente en algo que nos es desconocido, pero cierto. ¿Quién duda que todos los efectos observados responden á causas determinadas? Pues qué, ¿no estamos convencidísimos de la insuficiencia de las fuerzas físico-químicas para la explicación de los fenómenos vitales?

De todos es conocido que los animales pueden vivir de la leche, y no con un líquido confeccionado artificialmente con

las especies químicas que el análisis separa en aquélla. Sabido es también que la glucosa, en el organismo animal, conviértese por oxidaciones intra orgánicas en anhídrido carbónico y vapor de agua á la temperatura de 37°; y para efectuar en el laboratorio la misma transformación, se hace preciso que el calor ayude más enérgicamente á los oxidantes, aun en el supuesto de que el medio en que se realice, á semejanza del protoplasma, sea alcalino.

Podrá explicarse esta diferencia acudiendo á la acción de los fermentos solubles contenidos en las células y por ellas elaborados, los cuales, por modo hasta ahora imperfectamente conocido, son vehículos de la energía necesaria para que la reacción llegue á feliz término. Pero aun supliendo así la insuficiencia de las fuerzas físicas, siempre resultará tenebrosa la causa del proceso orgánico en cuestión, pues recurrir á la energía de los fermentos equivale á acudir indirectamente á la fuerza esencial y viva del protoplasma que los originó.

De consiguiente, si las fuerzas físico-químicas son impotentes para explicarnos la causa de los hechos anteriores, así como el fenómeno de las *deshidrataciones* en relación solidaria con las *hidrolisis*, contribuyendo éstas por su condición exotérmica á suministrar la energía indispensable á las deshidrataciones endotérmicas, y dejan además sin solución otros muchos procesos biológicos (véase pág. 101), estamos en el caso de admitir una *fuertza especial* como agente de los fenómenos biológicos, del mismo modo que admitimos la luz, calor, etc., y desconocemos en esencia lo que son.

En suma: desconocida por completo la causa de los procesos biológicos, é imitando la conducta de Quatrefages, confesamos nuestra ignorancia, por no engañarnos y engañar á los demás.

Mas como nuestro deber es referir aquello que la ciencia expone respecto á los procesos bioquímicos tan complejos y nebulosos, indicaremos brevemente las interpretaciones, al parecer seductoras, si bien hipotéticas, que los fisiólogos admiten, sin que esto nos obligue á ultimar conclusiones, por lisonjeras que sean, ni tengamos la pretensión de haber coronado sólidamente la obra con materiales tan deleznales.

**Conexión y diferencias entre las funciones asimiladoras y desasimiladoras.**—Los fenómenos bioquímicos que más se desta-

can en fisiología celular son la *asimilación* y *desasimilación*. Y aun cuando el enunciado de estos procesos parece indicar, y así es en efecto, que sus finalidades respectivas son contrarias, sin embargo, ambos fenómenos fisiológicos se integran y complementan coadyuvando juntos por caminos diametralmente opuestos á la sorprendente edificación de los materiales constitutivos celulares.

En el trabajo incesante asimilativo ó reductor, y desasimilativo ú oxidante, descansa todo el mecanismo metabólico celular, y, por tanto, el crecimiento y multiplicación de los seres organizados.

Sabido es que los elementos químicos necesarios á la edificación de las células, pueden penetrar en el interior de las mismas (véase alimento, pág. 299) en el estado de sales minerales disueltas ó en forma de combinaciones orgánicas más ó menos complicadas. En el primer caso, se realiza en el seno del protoplasma y de los cloroplastos, con la suma de radiaciones absorbidas (calor, luz...), el correspondiente trabajo ascendente y sintético, para dar lugar á la formación de los compuestos más ó menos complejos, y llegar progresivamente á las sustancias albuminoides. En el segundo, se abrevia, pero no por eso sea anula el proceso intracelular manifestado en el caso anterior.

La *asimilación*, según esto, es el trabajo sintético por el cual los elementos químicos de los compuestos procedentes del medio exterior, forman parte del citoplasma y sus derivados (plasmidos, membrana...) Una misma célula, según las condiciones donde se halle colocada, asimilará más ó menos, y hasta puede no asimilar nada, siempre que se alimente de otro citoplasma previamente formado: sirva de ejemplo el caso de una célula creciendo por simple incorporación de un protoplasma vecino. De donde resulta que la *asimilación no es condición necesaria de la vida y del crecimiento de la célula*.

Convengamos, sin embargo, que si los productos incorporados en las células exceden al consumo que el citoplasma necesita para elaborar sustancias y aumentar su límite de crecimiento, entonces dichas células transforman los materiales que rebasan en las mismas, para no perder su equilibrio, en sustancias en reserva que se almacenan en determinados órganos para ser utilizados posteriormente. Una cosa seme-

jante sucede en los animales con los hidratos de carbono en el estado de glucosas, que son inmediatamente utilizados por la sangre; pero como ésta no puede contener dicho cuerpo ternario en mayor proporción del 15 por 100, puesto que traspasada esta cifra se rompe el equilibrio osmótico de los líquidos orgánicos, á fin de conservar dicho equilibrio existe la función hepática con la formación del glucógeno.

La *desasimilación* es el trabajo analítico ó de descomposición, según el cual los materiales asimilados y poco ó nada oxigenados, sufren una serie de transformaciones que los simplifican más y más, atravesando los mismos estados ó retrocediendo las mismas fases que anteriormente habían ocupado en el camino asimilativo. Mas como entre las diversas gradaciones de esta escala descendente los cuerpos procedentes de la desasimilación pueden, sin salir de la célula, ser reabsorbidos ó reasimilados para contribuir al incremento orgánico, es decir, que su aparición es transitoria, infiérese, según esto, que *la desasimilación es un fenómeno general y necesario á la vida de la célula*; ó en otros términos, la vida es imposible de no estar en continuo movimiento desasimilativo.

Además, los compuestos absorbidos por las células y que constituyen la materia prima alimenticia, son generalmente muy oxigenados; y como los productos de la asimilación aparecen inversamente poco ó nada oxigenados, dedúcese como consecuencia que este proceso funcional es un fenómeno general de desoxidación y consumo de calor. Por el contrario, la desasimilación, partiendo de productos poco oxigenados y favorecida por la respiración, función completamente desasimiladora, origina compuestos fuertemente oxidados entre los cuales el anhídrido carbónico no falta, resultando, por tanto, que dicho fenómeno fisiológico es un proceso general de oxidación y desprendimiento de calor.

Hay, por consiguiente, eliminación de oxígeno y absorción de radiaciones siempre que la asimilación predomine, y absorción de oxígeno y libertad de radiaciones cuando la desasimilación prevalezca ó supere.

**Crecimiento celular originado á expensas de sustancias en reserva.**—Este concepto pudiéramos expresarlo en los siguientes términos: «entre la asimilación y el crecimiento media el paso forzoso de una substancia en reserva.»



En unos casos, las células recorren velozmente sus procesos metabólicos, es decir, que en un momento dado se verifican la asimilación, crecimiento y desasimilación en el orden expresado. Así se explica que la presencia en las células de productos asimilados utilizados y descompuestos momentos después de su formación ó durante ella, sea fugaz, transitoria ó de corta duración.

Sin embargo, lo frecuente es en la vida celular que se acumulen y se depositen en reserva las substancias asimiladas para ser aprovechadas más tarde por el crecimiento y después desasimiladas. Por eso, entre la asimilación que produce estos materiales de reserva y el crecimiento que los consume, media frecuentemente una alternancia como expresiva de la división del trabajo en el tiempo. Así, por ejemplo, observada una célula de *Spirogyra*, veremos que durante el día asimila y almacena sus reservas, pero no *crece ni se tabica*; en cambio, llega la noche, y crece y se tabica á expensas de su reserva, pero no asimila.

De modo que, según esto, aun cuando la asimilación y el crecimiento se operan simultáneamente, podemos asegurar que el crecimiento actual tiene lugar á expensas de materiales de reserva producidos por una asimilación anterior, mientras que la asimilación actual reconstruye la reserva á medida que es gastada. Por consiguiente, el crecimiento parece ser siempre indirecto, ó sea, precedido de una reserva almacenada más ó menos tiempo á expensas de materiales asimilados y utilizados.

Los materiales de reserva pueden almacenarse en la célula en distintas fases del trabajo asimilador ó desasimilador. El almidón, la inulina, la sacarosa, etc., son colocadas en reserva á un grado de asimilación menos avanzado que los cristaloideos protéicos, y, sobre todo, que los granos de aleurona. Para éstos, el trabajo sintético ha sido interrumpido; pero más tarde lo recobran para terminar las fases asimiladoras y dar origen á las substancias albuminoides tan esenciales para el crecimiento. Del mismo modo la desasimilación puede suspenderse á distintas fases, acumulándose los productos correspondientes en la célula, sea para ser utilizados más tarde por el trabajo asimilador y desempeñar en definitiva el papel de materiales en reserva, como la esparraguina; bien para ser indefinidamente

te inmovilizados en este estado, como el ácido oxálico ú oxalato de cal; ó ya, finalmente, para experimentar descomposiciones ulteriores, como los aceites esenciales.

Es, por lo tanto, imposible decidir si una substancia que se encuentra en un momento dado en la célula, corresponde á una fase ascendente del trabajo asimilador, ó á la descendente y desasimiladora.

Bosquejadas de un modo general las diferencias que existen entre los fenómenos asimilativo y desasimilativo; comprendida la integración de ambos procesos en el metabolismo celular, y deducidas sus finalidades, cuales son el crecimiento limitado y la multiplicación celular como consecuencia de aquél, desglosaremos para mayor claridad ambos fenómenos, con el plausible fin de saber qué funciones corresponden á cada uno.

#### ASIMILACIÓN

Con este nombre distinguimos todos los procesos anabólicos, ascendentes, reductores y sintéticos, por medio de los cuales, las materias alimenticias absorbidas en forma asimilable, corren la escala de lo sencillo á lo complicado, hasta llegar á la meta de sus transformaciones, ó sea á la formación de los albuminoides que integran casi por sí solos todo el citoplasma celular.

Diferentes fases graduales parecen revelarse en la asimilación, y que reduciremos á tres: 1.<sup>a</sup> Síntesis de los hidratos de carbono y de otros productos ternarios. 2.<sup>a</sup> Síntesis fosforada. 3.<sup>a</sup> Síntesis de las substancias albuminoides.

Y para finalizar los procesos asimilativos, terminaremos la síntesis vegetal con el estudio de los materiales en reserva necesarios para el crecimiento, aun cuando puedan ser á veces originados en el proceso desasimilativo, indicando entre ellos la formación de reservas *hidratos de carbono* y otros productos ternarios, reservas *grasas* y reservas *fosfo-sintéticas* y *albuminoideas*.

### Síntesis de los hidratos de carbono.

Para estudiar con orden esta formación supondremos dos casos, que las *células sean ó no verdes*.

1.—**Células verdes ó provistas de clorofila.**—En la producción de los hidratos de carbono en las células verdes, examinaremos las *condiciones de formación* y el *origen* de los mismos.

#### A.—*Condiciones de formación.*

La génesis de los hidratos de carbono y la producción correlativa del almidón, señalan el primer paso de la materia inorgánica á la orgánica, pues con sustancias minerales sencillas, energías físicas *ad hoc* y el pigmento verde, tenemos lo fundamental para formar el cuerpo de doctrina que lleva el título de *asimilación clorofilica ó asimilación del carbono*.

**Asimilación clorofilica.**—Esta importantísima función, *condición de la permanencia de la vida sobre el globo*, y gracias á la cual se opera la metamorfosis del anhídrido carbónico y de las sales terrestres en principios orgánicos, es la causa de que las plantas se presenten como mecanismos reductores; preponderancia clorofilica que hace que se oscurezca en el vegetal (si bien en pequeña proporción) el proceso destructor de materia orgánica, tan característica del animal.

El fundamento de esta función descansa en que el pigmento verde, á una temperatura conveniente, absorbe las radiaciones luminosas, rojas y azules, con cuya energía, transformada en trabajo químico, descompone el anhídrido carbónico, fija el carbono y desprende el oxígeno.

No insistiremos respecto á la formación del pigmento verde (véase pág. 114) y el curioso detalle teórico y experimental relativo á la propiedad fisiológica de la clorofila en la descomposición del anhídrido carbónico (véase pág. 116).

Del ligerísimo examen entonces manifestado, se vino en conocimiento que la fuerza viva de las ondas ó vibraciones luminosas absorbidas, no obstante su pequeñez, llegan á constituir, por la acumulación de sus efectos, el potencial generador de todos los trabajos que tienen por sustento las materias combustibles; es decir, que representan la energía reductora

del anhídrido carbónico, procedente de la energía luminosa que el pigmento transforma en energía química. Con este modo suave de conducirse la clorofila, se llega con facilidad suma á la descomposición del anhídrido carbónico; mientras que para obtener el mismo resultado en los laboratorios, es necesario emplear elevadísimas temperaturas, con las cuales restituyamos en la descomposición carbónica las 94,3 calorías que se desprenden en la combustión del carbono.

En los seres pluricelulares se demuestra esta descomposición con el aparato que representa el grabado adjunto (fig. 202).

No es sólo la energía luminosa el único factor que inter-

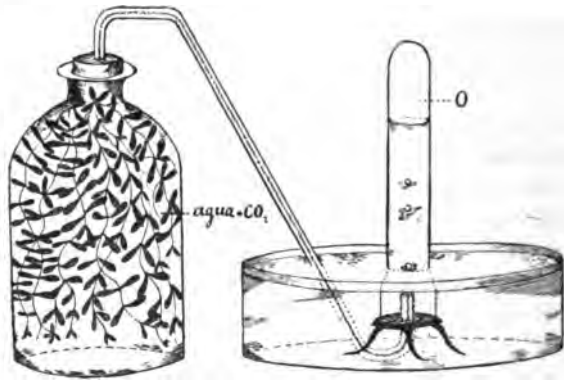


Fig. 202. — Planta de *Callitriche stagnalis* colocada en el interior de un recipiente con agua cargada de  $CO_2$ . El recipiente se expone á la luz, con cuya influencia la planta citada desprende burbujas de oxígeno que se dirigen por el tubo vector ó de desprendimiento á la probeta.

viene en el poder reductor del anhídrido carbónico actuando sobre la clorofila; pues para constituir el potencial generador de la descomposición consabida, es necesario además la energía térmica y la actividad del citoplasma y del plasmito. Bastaría simplemente, para demostrar nuestro aserto, colocar en plena luz una hoja verde separada del vegetal que la engendró, para ver que en este caso no se verificaba la fijación del carbono á expensas de aquélla.

La acción clorofílica en su funcionamiento es correlativa:  
1.º De la emisión de un volumen de oxígeno por las células

aproximadamente igual al volumen de anhídrido carbónico absorbido, ó sea que la relación clorofílica  $\frac{V_o}{V_{CO_2}} = 1$ . 2.º De la aparición de granos de almidón, que testifican la asimilación del carbono, y elaborados en el seno de los cloroplastos bajo la influencia de la luz. 3.º En ausencia del anhídrido carbónico, no hay emisión de oxígeno ni elaboración de almidón (á menos que la planta contenga reservas, tales como el azúcar, susceptibles de originar aquel compuesto).

Examinaremos brevemente cada uno de estos tres casos:

1.ª *En la asimilación clorofílica, la relación ó cociente clorofílico es aproximadamente  $\frac{V_o}{V_{CO_2}} = 1$ .*—Realmente los volúmenes de anhídrido carbónico *absorbido*, y de *oxígeno* desprendido por las células, no expresan exactamente los volúmenes enteros de estos gases puestos en juego por la acción clorofílica.

En efecto: las células no descomponen sólo el volumen de anhídrido carbónico  $V_{CO_2}$  que toman del medio ambiente, sino además, con preferencia, el volumen  $\nu_{CO_2}$  que engendran en su respiración; de la misma manera que las células no elaboran sólo el volumen  $V_o$  de oxígeno que desprenden, sino también el volumen  $\nu_o$  aislado y pronto aprovechado para entretener la respiración.

Los términos  $V_o$  y  $V_{CO_2}$  no expresan, en suma, más que la *resultante* de la acción clorofílica y respiratoria respectivas.

Resulta de lo dicho, que las células han descompuesto en total  $V_{CO_2} + \nu_{CO_2}$  de anhídrido carbónico, y han producido en suma  $V_o + \nu_o$  de oxígeno durante el tiempo considerado, sin embargo de lo cual las células no han *absorbido* más que  $V_{CO_2}$  y *desprendido* más que  $V_o$ .

Por consiguiente, la *relación clorofílica total* es entonces

$$\frac{V_o}{V_{CO_2}} = \frac{V_o + \nu_o}{V_{CO_2} + \nu_{CO_2}}$$

Para determinar los volúmenes  $V_o$  y  $V_{CO_2}$ , que expresan la acción clorofílica total, se ha recurrido en plantas pluricelulares á suprimir la función clorofílica por medio de los anes-

tésicos, pues no se puede hacer lo mismo con la función respiratoria enmascarada por la anterior.

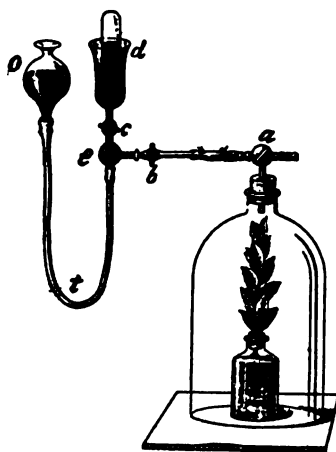


Fig. 203.—Aparato destinado para recoger pequeñas cantidades de la atmósfera confinada en el recipiente que encierra la planta.—*a*, llave de tres vías ó pasos que permiten obtener el vacío de dicho recipiente con una máquina neumática de mercurio y facilitar la entrada, si es preciso, á otro gas distinto del aire, etc.; *b* y *c*, llaves de vidrio; *d*, cubeta hidrargiro-neumática con su probeta; *t*, tubo de cautchuc. Para sustraer é inyectar en la probeta la porción de gas que se ha de someter al análisis, se procede del modo siguiente: estando llenos *b*, *c*, *d*, *t*, *o* y la probeta de mercurio (análogamente á la máquina neumática de mercurio), y la llave *c* cerrada, se coloca la cubeta *o* á nivel inferior de *ab* y se abre la llave *b*; un poco de gas se deposita en la ampolla de cristal *e*. Mas elevando en seguida la cubeta *o* sobre el nivel de la cubeta *d* y abriendo acto continuo la llave *c*, el gas se dirige á la probeta.

Dos porciones, con peso igual, de la misma planta, son colocadas en la obscuridad en recipientes de la misma capacidad, y que contienen el uno aire puro, el otro aire con cloroformo. Al cabo de una ó dos horas, se toma en cada recipiente una pequeña cantidad del aire encerrado, que se analiza para asegurarnos de que la composición responde á las variaciones de una respiración normal, iguales en uno y otro recipiente. Véase la explicación del grabado adjunto (fig. 203).

Satisfecha esta condición, exponemos los dos recipientes á la luz, y pasadas algunas horas se procede á un nuevo análisis.

La diferencia *d* entre los volúmenes de anhídrido carbónico de los dos aparatos, representa evidentemente la *totalidad* de este gas, asimilado por la planta sin anestésico, y análogamente la diferencia *d'* entre los volúmenes de oxígeno correspondientes á la totalidad de oxígeno producido.

Con cuyos datos podemos fijar la proporción que determine los elementos de la acción clorofílica total:

$$\frac{V_o}{V_{CO_2}} = \frac{d'}{d}.$$

Las investigaciones precedentes conducen en definitiva á barnarnos que el *volumen total de oxígeno producido* por la planta, es en casi todas las especies *superior al volumen total de anhídrido carbónico asimilado*; es decir, que el *cociente clorofilico*, ó la relación clorofiliana verdad, es superior á la unidad y se expresa

$$\frac{V_{O_2}}{V_{CO_2}} > 1.$$

Este oxígeno excedente parece proceder de la reducción de los fosfatos y nitratos, que de esta manera, y como luego veremos, se colocan en condiciones bioquímicas adecuadas para unirse á los compuestos ternarios y formar los albuminoides.

2.<sup>a</sup> *La asimilación del anhídrido carbónico es correlativa de una producción de almidón.*—Al mismo tiempo que las células absorben el anhídrido carbónico, los cloroplastos transforman el carbono de este gas en compuestos orgánicos, y entre éstos el que visiblemente aparece y se destaca por sus caracteres peculiares es el *almidón*. La luz le es necesaria para formarse.

En efecto: *sin luz no aparece el almidón en los cloroplastos.*—Los cuerpos clorofilicos espirales de las *Spirogyras* que vegetan en presencia de la luz, encierran siempre, rodeando á los *pirenoides* (cristaloides incoloros de contorno más ó menos poliédrico), una corona de granillos amiláceos (fig. 204).

Si conservamos la planta en la obscuridad, se reabsorben los granillos poco á poco, hasta que al cabo de dos días terminan por desaparecer. Y basta exponer de nuevo la planta á la luz solar, para que, pasados algunos minutos y sumergida en agua rica en anhídrido carbónico, se reconstruyan nuevamente los granillos de almidón.

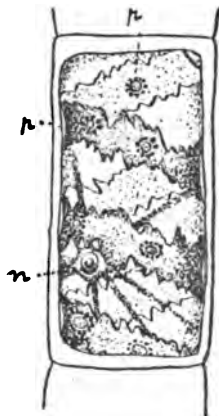


Fig. 204.—Célula de *Spirogyra* con su cloroplasto en espiral.—n, núcleo; p, pirenoide con corona de granillo de almidón

Análogamente, si cubrimos una hoja verde de cualquiera planta con una hoja de estaño previamente horadada de modo que aparezca en hueco, la palabra *almidón*, por ejemplo, observaremos que, expuesta á la luz, sólo produce almidón en la región iluminada. Bastaría para demostrarlo tratar en seguida la hoja por el agua yodada, en cuyo caso la zona amilífera reproduce de azul en el fondo verde del órgano la palabra anteriormente grabada (fig. 205).

3.<sup>a</sup> *Sin el anhídrido carbónico no hay producción de almidón clorofílico.*—En una atmósfera limitada y privada de anhídrido carbónico por la potasa, toda planta verde cesa de producir oxígeno, y, por consiguiente, almidón, aun expuesta á la luz. Es más: dicha planta agota más ó menos completamente la reserva amilácea que contenía en sus cuerpos clorofílicos.



Fig. 205.—Hoja verde no separada de la planta, previamente cubierta con papel de estaño, en el cual, trepanándolo, se han marcado las palabras *almidón* y *luz* antes de exponerla á la radiación luminosa. Tratada después con el agua yodada, se colorean en azul las porciones respectivas á los caracteres señalados.

De modo que en estas condiciones, no es solamente absorbido por la potasa el anhídrido carbónico de la atmósfera limitada, sino también la mayor parte del procedente de la respiración y que no ha podido ser reasimilado á medida que se ha formado.

Los anestésicos empleados convenientemente, paralizan la asimilación clorofílica hasta el punto de suprimirla, sin que por esto se altere lo más mínimo la respiración.

Una vez suspendida la función clorofílica, para lo cual podemos seguir el procedimiento de Bernard (fig. 206), la respiración, enmascarada por aquélla en las condiciones normales, se efectúa libremente, como lo demuestra el análisis gaseoso.

En suma: las condiciones de formación en los hidratos de carbono, son principalmente: la actividad del plasmito, materia colorante (comunmente verde) y absorción de radiaciones térmicas y luminosas, variando estas últimas con el color del pigmento.



AA.—*Orígenes de los hidratos de carbono.*

**Amilogénesis.**—Intrepretando los hechos anteriormente expresados, la amilogénesis tiene por objeto exponer las diferentes hipótesis que reinan entre los biólogos botánicos respecto al origen del almidón, cuerpo que, como ya sabemos, es el único producto bien manifiesto de la asimilación del carbono.

1.º **Origen aldehídico del almidón.**—En vista de los resultados precedentes, y sobre todo de la relación clorofílica  $\frac{V_{O_2}}{V_{CO_2}} = 1$ , se ha supuesto que la asimilación del  $CO_2$  es precedida de una disociación de este gas en las células verdes.

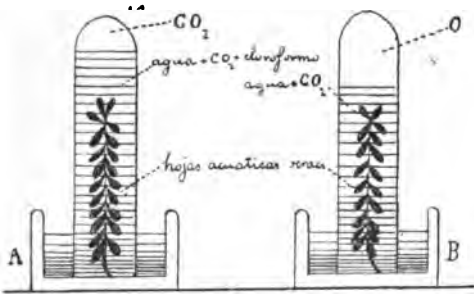
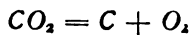


Fig. 206.—Experiencia de Claudio Bernard.—Separación de la asimilación y de la respiración por los anestésicos (cloroformo).

Teóricamente esta disociación puede ser *total* ó *parcial*, según Belzung (1).

α. En el caso de la descomposición total, se tendrá

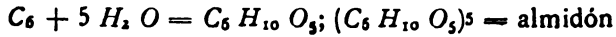


Cada molécula de anhídrido carbónico, en este caso, origina una molécula de oxígeno que se desprende y que corresponde exactamente con el valor de la relación clorofílica antedicha.

Dicho carbono naciente se combina inmediatamente con

(1) Belzung, *Anatomie et physiologie vegetales*, pág. 591: Paris, 1900.

los elementos del agua, originando la dextrina, que polimerizada forma el almidón

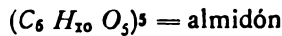
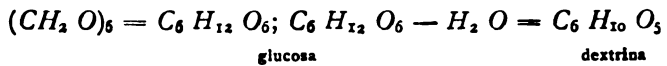
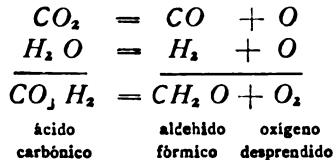


6. En el caso de la descomposición parcial



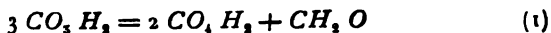
Esta reacción deja en libertad la mitad sólo del volumen de oxígeno desprendido. La otra mitad puede provenir de una descomposición del agua, solidaria de la del anhídrido carbónico. El hidrógeno naciente de esta descomposición se fija al óxido de carbono á medida que se produce éste, y constituye el aldehído fórmico ( $COH_2$ ). Dicho aldehído se polimeriza y da lugar á un hidrato de carbono, probablemente glucosa, por ser la substancia que toma origen en la hoja de la mayor parte de las plantas verdes en el curso asimilativo; y esta glucosa, por deshidratación, constituirá el almidón en derredor de los cuerpos clorofilicos.

Se tendrá entonces sucesivamente



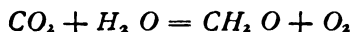
Todo esto parece significar que la molécula de ácido carbónico ( $CO_2 H_2$ ) se ha descompuesto en aldehído fórmico ( $CH_2 O$ ) y oxígeno; que esta descomposición y esta síntesis de los hidratos de carbono está localizada en los cloroplastos; que el primer hidrato de carbono formado por polimeria del aldehído fórmico, es principalmente *glucosa*; y, por último, que una parte de este cuerpo, deshidratado, se deposita *ipso facto* en reserva alrededor de los cloroplastos en forma de granos de almidón.

γ. Se ha emitido también la hipótesis (de acuerdo con los hechos puramente químicos) de una descomposición del ácido carbónico ( $CO_2, H_2$ ), disuelto en el jugo de la planta, en ácido percarbónico hidratado y en aldehído fórmico; el ácido percarbónico se descompone á su vez y origina la molécula de oxígeno desprendida



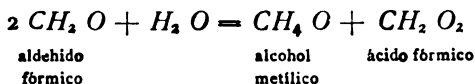
Según se ve, sobre tres moléculas de ácido carbónico que intervienen en la ecuación (1), dos son reconstituídas en la ecuación (2), y, por consiguiente, una molécula de dicho gas determina la molécula de oxígeno desprendida.

**Influencia del aldehído fórmico sobre la amillogénesis.**—Partiendo Bayer de la facilidad con que el aldehído fórmico se polimeriza en medio alcalino, lo ha conceptualizado el generador de todos los hidratos de carbono, producidos por reducción del ácido carbónico atmosférico con el desprendimiento de su oxígeno en la siguiente forma consabida:



Para aceptar esta explicación es necesario poner de manifiesto que el aldehído se halla en los vegetales; y aunque la existencia de dicho compuesto, que es muy tóxico, en ningún caso ha podido demostrarse directamente, esto no invalida la hipótesis, porque su inestabilidad puede ser la causa de que desaparezca apenas formado, por efecto de rápidas combinaciones ó transformaciones.

La demostración indirecta se apoya en la presencia del alcohol metílico y del aldehído fórmico en las hojas de los vegetales, la cual se interpreta como resultado de la transformación del aldehído por la acción del agua:

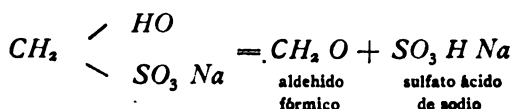


Otro medio indirecto que demuestra la influencia del aldehído fórmico sobre la amillogénesis, se reduce á nutrir plantas verdes, no con el aldehído, que es muy tóxico, sino con una

combinación capaz de producirlo fácilmente por desdoblamiento. Esta experiencia, debida á Bokorny, es el argumento de mayor fuerza que se ha podido presentar hasta ahora.

Se practicará la experiencia de día, ó de noche, teniendo cuidado en el primer caso de que el medio en que se coloque el vegetal verde esté exento de anhídrido carbónico.

α. **De día: agua exenta de anhídrido carbónico.**—Cultivó Bokorny en estas condiciones el alga *Spirogyra majuscula*, proporcionándola como alimento una disolución nutritiva puramente mineral (sin carbonatos), y adicionada de *oximetilsulfito sódico* á la dosis  $\frac{5}{10.000}$ : este cuerpo, al descomponerse en el protoplasma, produce aldehído fórmico sin desprendimiento de oxígeno.



Además, como en el interior de las células se produce almidón, no cabe duda que el único generador posible de éste es el aldehído.

β. **De noche.**—En dos cristalizadores con agua se colocan, para que vegeten, porciones de *Spirogyras*, proporcionando á una de ellas sólo solución nutritiva mineral, y á la otra, análoga solución con aditamento de oximetilsulfito sódico. En estas condiciones, no aparecerá almidón en el primer caso, y, en cambio, se formará gran cantidad en el segundo. Lo cual prueba también que el único productor del almidón es el aldehído.

Ahora bien: este aldehído fórmico, polimerizándose, parece convertirse primero en glucosa, tan abundante en las células vegetales, para después transformarse en almidón, siguiendo las ecuaciones reveladas en la pág. 362.

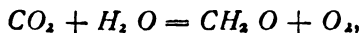
En efecto: se sabe que plantas de judía común, haba, etc. (véase págs. 116 y 141), con hojas blanquecinas y descoloridas, desprovistas de almidón en los xantoplasmitos y colocadas en la obscuridad mucho tiempo, producen granos de almidón cuando se sumergen porciones de tallos ú hojas en una solu-

ción de azúcar, y en ausencia de la luz. Análogo fenómeno se observaría en una atmósfera desprovista de anhídrido carbónico, exponiendo cualquier planta verde ó no verde en solución alimenticia semejante y en presencia de la luz.

De todo lo cual se infiere: 1.º, que es lógicamente posible el desdoblamiento precipitado del oximetilsulfito sódico en el seno de la planta; y 2.º, que el aldehído fórmico se transforma, apenas formado, en glucosa, y ésta en almidón.

*Primera observación.*—Ya dijimos, al tratar de la *inosita*  $C_6 H_6 (OH)_6$  en la pág. 179, que este cuerpo ternario es muy abundante en las hojas y en otros muchos órganos vegetales (judía, guisante, patata, espárrago, etc.), y que su producción obedecía, del mismo modo que el almidón, á la reducción del anhídrido carbónico por los cloroplastos.

Además: como su fórmula indica ser un fenol hexavalente, es lógico que, según las circunstancias de la planta, la reducción del anhídrido carbónico se verifique, no según el procedimiento consabido



sino de acuerdo con la ecuación siguiente:



Este producto  $CH (OH)$  es éter de un isomero alcohólico del aldehído fórmico; y como no puede existir libre en las células, una de dos: ó se duplica y se asocia al ácido fosfórico para constituir el ácido anhidro oximetileno difosfórico, que, como material de reserva, es conducido á los tejidos correspondientes (véanse págs. 195 y 196); ó se sextuplica  $C_6 H_6 (OH)_6$  y engendra la *inosita*, substancia azucarada que, como hemos dicho anteriormente, es muy abundante en las células vegetales.

*Segunda observación.*—Importa hacer constar, como dice muy bien Belzung, que en las interpretaciones arriba expresadas, se toma como base la resultante de los fenómenos clorofílico y respiratorio, y no el fenómeno clorofílico total, es decir, hacemos producir á la planta un volumen de oxígeno igual al volumen de anhídrido carbónico absorbido.

Pero como es constante que el volumen total de oxígeno

elaborado sea superior, notablemente á veces, al volumen de anhídrido carbónico asimilado en el mismo tiempo, hay necesidad de buscar otro manantial de oxígeno distinto del procedente del anhídrido carbónico. ¿Este manantial procede del agua, ó de la reducción de los nitratos alimenticios? Esta última hipótesis parece ser la más probable, como veremos más adelante.

**2.<sup>a</sup> Otras hipótesis amilogenésicas.**—La posibilidad de sustituir el oximetilsulfito sódico por otros diversos compuestos sin que se interrumpa la formación del almidón, ha reducido ó minorado bastante el valor teórico de este hecho experimental amilogenésico.

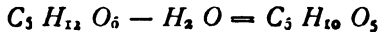
En efecto: las sustancias que pueden provocar la formación del almidón en análogas condiciones á las del cuerpo mencionado, pueden ser: *azucaradas* (glucosa, sacarosa, manita), *alcohólicas* (alcohol metílico, etílico, glicérico, glicoles, etc.), *ácidas* (ácidos málico, cítrico) y *protéicas* (principios albuminoideos en reserva).

Dichos compuestos amilogénicos, por su permanencia en la célula, pudiéramos dividirlos también en *constantes* y *transitorios*. Damos el nombre de *constantes* á aquéllos que generalmente se encuentran en las células, y de los que el protoplasma ó los plasmitos pueden disponer, por hallarse en condiciones químico-biológicas apropiadas para engendrar el almidón, bien en todo tiempo (azucaradas), bien en circunstancias especiales de la vida celular (ácidas, protéicas). Y *transitorios* á los que su paso por la célula es fugaz, pues directamente, ni en un solo caso pudo demostrarse su existencia, indicándonos esto que á medida que se forman son transformados inmediatamente, dando lugar á otros cuerpos originarios del almidón (alcoholes) (1).

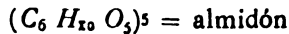
(1) Recuérdese con este motivo lo que se dijo respecto á la digestión de las grasas (pág. 157), fermento saponasa (pág. 209), y también la transformación del éter alcohólico isomero del aldehído fórmico  $CH(OH)$  para engendrar la *inosita* (pág. 179).

### Amilogénesis á expensas de los productos azucarados.

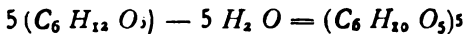
**α. Glucosas.**—Las células abrevian muchísimo el proceso metabólico amilogénico con este alimento, puesto que sólo determinando en estas sustancias deshidrataciones, originan fácilmente el almidón, según la ecuación siguiente:



y condensándose

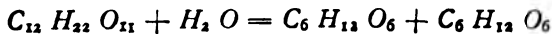


ó también



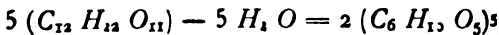
**αα. Sacarosas.**—Con esta sustancia, el trabajo celular también se reduce bastante. Sólo dos medios indicaremos para constituir el almidón:

1.º Por la acción del fermento *invertasa*, que por hidrolisis las transforma en *dextrosa* y *levulosa*.



cuyos azúcares por deshidratación pueden convertirse en almidón según las ecuaciones precedentes.

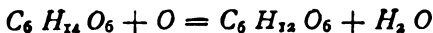
2.º Por deshidratación directa



Si *maltosa* fuera el cuerpo generador, se transformaría directamente en glucosa, producida por hidrolisis con el fermento *maltasa*, según la ecuación siguiente:



**ααα. Mantas.**—Estos productos celulares, verdaderos alcoholes exa-atómicos, pueden originar la glucosa por deshidrogenación ú oxidación.



cuya glucosa se convierte en almidón del modo consabido,

### Amilogénesis á expensas de los productos alcohólicos.

Estas substancias no se encuentran en el interior de las células; obran como anestésicos por la deshidratación que sobre los protoplasmas ejercen, y siendo, por tanto, tan perjudiciales, se comprende que á medida que se formen, sean rápidamente transformados, originando otros compuestos más viables.

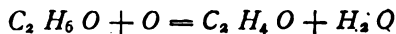
Existiendo en las células numerosísimos fermentos, y entre ellos la *alcoholasa*, ¿quién no cree, como dice muy bien Van Tieghem, sean transformadas las glucosas intracelulares en alcohol y anhídrido carbónico en el período de la vida activa celular, á semejanza de lo que ocurre en los seres unicelulares anaerobios, como el *Saccaromyces*? ¿No estamos cansados de saber que el *Micrococcus aceti* y el *Micrococcus oblongus* originan vinagre cuando se nutren de alcohol? ¿Toda célula vegetal en vida anaerobia no desdobra la glucosa en alcohol y anhídrido carbónico?

Si los alcoholes monoatómicos (metílico) y diatómicos (glicoles) pueden provocar la formación del almidón según Belzung, del mismo modo que el oximetilsulfito sódico, es muy probable, fundándonos en la ley de continuidad (1), que la glucosa contenida en las células sea destruída por los fermentos en ellas existentes, y el alcohol engendrado, tan nocivo para el protoplasma por su acción coagulante (como el anhídrido fórmico hemos visto también lo es), sea *oxidado* á medida que se produce, dando origen á compuestos capaces, químicamente, de engendrar glucosa y, por consiguiente, almidón.

α. **Alcohol etílico.**—Se produce en la fermentación alcohólica de la glucosa



Primer grado de oxidación, origina aldehído etílico ó acético



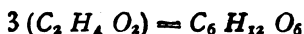
Por una oxidación más intensa, engendra ácido acético



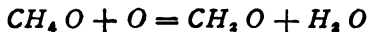
(1) Van Tieghem, *Traité de Botanique*: Paris, 1884, págs. 162 y 163.



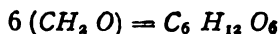
Polimerizándose el ácido acético, da glucosa



*aa.* **Alcohol metílico.**—Este alcohol, por oxidación, produce el aldehído fórmico ó metílico.



y polimerizándose el aldehído fórmico, origina la glucosa, como es bien sabido



Uno de los caracteres fundamentales del grupo *funcional alcohólico primario* — C  $\begin{matrix} / H_2 \\ \backslash OH \end{matrix}$  es que por pérdida de  $H_2$  y separación de

los elementos del oxidrilo, se produce el grupo *funcional aldehídico* — C  $\begin{matrix} = O \\ \backslash H \end{matrix}$  y si partiendo del mismo grupo funcional alcohólico,

subsistiendo el oxidrilo, se sustituye  $H_2$  por  $O$ , resulta el grupo *funcional ácido* — C  $\begin{matrix} / O \\ \backslash HO \end{matrix}$  llamado también *carboxilo*. Como en

ambos casos la cadena carbónica se conserva íntegra, he aquí la razón del por qué los alcoholes primarios originan aldehídos y ácidos por oxidaciones acentuadas, sin alterarse su estructura molecular. Récuerdese con este motivo, porque conviene al caso en cuestión, lo que dijimos respecto á la *labilidad* (véase págs. 203 y 204).

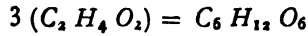
*aaa.* **Glicoles.**—Estos cuerpos son alcoholes diatómicos que se derivan, según los químicos, de los hidrocarburos, sustituyendo  $H_2$  por  $2 HO$ .

Si tomamos como punto de partida el *etano*, cuya fórmula empírica es  $C_2 H_6$ , el etilglicol derivado, según lo dicho, tendrá por fórmula empírica  $C_2 H_6 O_2$ .

Por oxidación, este cuerpo dará origen á un compuesto isomero del ácido acético

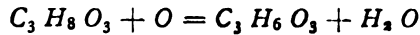


y polimerizándose, engendra la glucosa

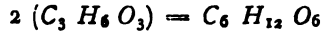


*αααα.* **Glicerina.**—Este producto es un alcohol triatómico ó trivalente, que mezclado en proporciones variables con los ácidos grasos (oléico, etc.), forma las grasas.

Por oxidación, á medida que se origina por hidrolisis de las grasas, produce el aldehido glicérico



y polimerizándose el aldehido glicérico, engendra la glucosa



#### **Amilogénesis á expensas de los productos ácidos.**

Hablando de los productos alcohólicos, se hizo ver la posibilidad de que el ácido acético ó etílico se transformara en glucosa y, por consiguiente, en almidón.

Pero como frecuentemente encontramos en las células otros ácidos orgánicos, que al parecer, transformados por el citoplasma, sirven de alimento á la planta y elaboran almidón, preciso es conocer en qué condiciones dichos productos se hacen susceptibles de formar parte en la edificación y crecimiento de las diversas partes celulares del vegetal.

Sabemos que el tallo y hojas carnosas de las Cactáceas (*Opuntia*), Crasuláceas (*Sempervivum*) y otras plantas crasas, producen abundantemente ácidos málico y cítrico, cuyos productos están estrechamente ligados á la asimilación que se efectúa en los parénquimas verdes.

La proporción de éstos ácidos, débil en las hojas jóvenes, aumenta con la edad, llegando al máximo en la plenitud del desarrollo foliar. En cambio, disminuye, como es natural, en las hojas inferiores; y sobre todo en las degeneradas, alteradas ó marchitas.

Estos ácidos se acumulan en los órganos durante la noche por transformación de los productos elaborados ó asimilados

en el día, y en plena y prolongada obscuridad son reabsorbidos por las plantas, integrando en parte la edificación y crecimiento celulares.

Además, en una atmósfera privada de luz y de anhídrido carbónico, observamos que se origina el almidón en las hojas (*Sedum spectabile*) á expensas de los ácidos orgánicos que en estas plantas crasas abundan; de todo lo cual se infiere que la producción de almidón no es solidaria de la asimilación del carbono.

### **Amilogénesis á expensas de los productos protéicos.**

Varios de los principios albuminoideos de reserva, almacenados en las semillas, pueden originar almidón en el fenómeno germinativo.

Sin embargo, el caso de amilogénesis activo que demuestra el origen albuminoideo del almidón, nos lo ofrecen los pericarpios de las Papilionáceas (judía, guisante).

Aquí los granos de almidón se acrecientan muchísimo á expensas de las sustancias albuminoideas de los cuerpos clorofilicos, á quienes sustituyen en el proceso de formación de dichos frutos. Estos, en su juventud, encierran en las células de sus pericarpios cuerpos clorofilicos bien netos, sin un grano de almidón. Más tarde es originado éste; pero adquiere tal desarrollo, que la masa verde del cloroplasto termina por desaparecer casi por completo. El fruto, entonces, toma tintes amarillentos y descoloridos, y está relleno de almidón, cuya reserva es reabsorbida después, sirviendo de alimento interno en la maduración de aquél (1).

Ahora bien: no se puede admitir aquí, dice Belzung, que la sustancia amilácea proceda sólo de la combinación del carbono con los elementos del agua, sino más bien que el almidón se engendra por descomposiciones ó secreciones de los cloroplastos, como también son originados independientemente del almidón, principios nitrogenados solubles que se difunden, á medida de su formación, en el parénquima verde.

(1) Véase el origen y multiplicación de los cuerpos clorofilicos, páginas 109, 110, 115 y 116.

Según esto, el carbono, proceda de donde quiera, se incorpora desde luego á las sustancias albuminoideas de los cloroplastos, al mismo tiempo que los principios alimenticios (nitratos, sulfatos, fosfatos, etc.), y éstos desaparecen á medida que llegan á las células vegetales de las hojas; de donde se desprende que á consecuencia del vasto trabajo sintético orgánico sobre la totalidad del alimento mineral absorbido del suelo y de la atmósfera, integrado en el cloroplasto, y que Belzung denomina *asimilación clorofilica total*, nace el almidón *por desdoblamiento de los principios protéicos así engendrados*.

Por esta razón, es suficiente que los cuerpos clorofilicos cesen de asimilar el *alimento total*, para que á medida que esto suceda, los cloroplastos se descompongan y destruyan poco á poco, originándose el almidón gradualmente á expensas de ellos por una especie de derretimiento comparable á aquél por el cual la grasa se engendra en las células animales, y el aceite esencial en el pericarpio de los limones.

De consiguiente, si la interpretación de estos hechos es exacta, dice Belzung; la amilogénesis debe cesar, no sólo en ausencia del anhídrido carbónico en el medio ambiente, sino también en ausencia de todo elemento esencial indispensable á la constitución de la sustancia de los cloroplastos, como precisamente tiene lugar en el caso de las sales potásicas.

En efecto: cultivos de *Spirogyras*, ricas en almidón, no producen este hidrato de carbono si la solución nutritiva en la cual vegetan no contiene más que sales potásicas. En estas condiciones, consumen rápidamente la reserva que ellas tenían almacenada en sus espirales clorofilicas, á pesar de hallarse en presencia de la luz y del anhídrido carbónico.

En resumen: los cuerpos clorofilicos ó cloroplastos parecen ser los obreros destinados por el protoplasma para la asimilación total del alimento; es decir, que son los instrumentos apropiados por la materia viva, no sólo para la fijación del carbono en estado de hidrato (azúcar, almidón) y de inositas, sino también para contribuir á los procesos metamórficos de los principios alimenticios minerales, en sustancias albuminoideas.

En el fondo de la cuestión, eminentemente compleja de suyo, refiriéndonos á la asimilación, un solo hecho cierto resulta,

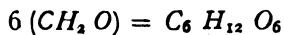
esto es, la fijación solidaria del carbono del anhídrido carbónico con el nitrógeno de los nitratos y del amoníaco, azufre de los sulfatos y fósforo de los fosfatos, por los cloroplastos en presencia de la luz, y la emisión correlativa de oxígeno.

### Origen probable de los demás hidratos de carbono y otros productos ternarios.

Hemos visto cómo se forma y de dónde procede el almidón; pero como hay otra multitud de hidratos de carbono diferentes, parece natural digamos breves palabras respecto á la formación de los más principales.

Una vez aceptada la formación del *aldehído fórmico* en el organismo vegetal, podemos, por sencillas y graduales condensaciones, elaborar teóricamente con aquel producto todos los hidratos de carbono existentes en las células.

1.º Del aldehído ( $CH_2 O$ ) sextuplicado, se originan las *glucosas*



Aun cuando las glucosas son numerosísimas, sus diferencias son sólo isoméricas. La función química de unas es aldehydica (dextrosa); de otras, acetónica (levulosa), además de la alcohólica, que en todas ellas está representada por cinco oxhidrilos.

Son de una excepcional importancia en fisiología celular por su fácil ósmosis citódica, y además por el sinnúmero de sustancias intracelulares que resultan de sus variadas isomerías.

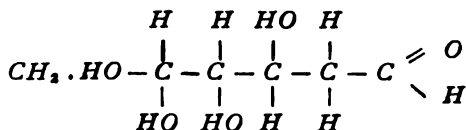
Fijémonos principalmente en dos de ellas, por ser las más conocidas: nos referimos á la dextrosa y levulosa, y estudiemos sólo sus variadas *fórmulas de constitución*.

La fórmula empírica de las dos ( $C_6 H_{12} O_6$ ) sólo representa la composición cualitativa y cuantitativa de ambas sustancias, que, como vemos, es la misma. Pero dados los caracteres diferenciales que presentan (véase pág. 174), ha sido preciso que los químicos descubran que las moléculas se hallan formadas por cadenas de átomos del carbono fundamental, en cada uno de los cuales se engarzan los demás, constituyendo los radicales que los saturan.

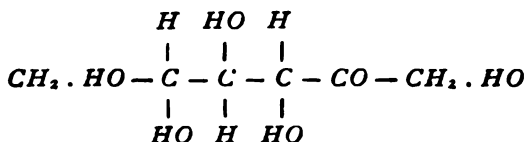
De este modo hanse concebido las *fórmulas de constitución poli-*

*gonales*, ó sean disposiciones atómicas en un plano, con las cuales aclaramos muchas dudas que las fórmulas empíricas de composición tenían escondidas.

Así, por ejemplo, la fórmula de la dextrosa (alcohólico-aldehídica) se representa por



Y la de la levulosa (alcohólico-acetónica) por



Hoy la ciencia química ha dado un paso más, imaginado por novísimas concepciones teóricas; hoy los hechos confirman que las moléculas son sólidas, y que los átomos de que están constituidas, formando los eslabones de las cadenas, no sólo se hallan agrupados, sino que tienen su respectiva colocación, dando lugar á poliedros que representan los verdaderos esquemas de constitución molecular; denominando *estereoquímica*, ó sea química de los sólidos, al concepto de apreciar en las substancias las tres dimensiones de sus figuras moleculares.

Dice Carracido en su *Química orgánica*: «Para satisfacer las exigencias de este novísimo concepto, se representa el átomo de carbono por un tetraedro cuyos cuatro vértices simbolizan las cuatro atomicidades; y en la serie aromática, el exágono de Kekulé por un prisma triangular cuyos seis vértices son representantes de las seis atomicidades del anillo bencénico. Aceptada esta suposición, desde luego se deriva el concepto de la constitución molecular simétrica ó asimétrica. Si los cuatro vértices del tetraedro están saturados por radicales diferentes, la molécula no podrá ser dividida por un plano que corte el tetraedro en dos mitades iguales: su estructura será, por consiguiente, asimétrica; pero si dos de los vértices están saturados por radicales idénticos, entonces la estructura será simétrica.

»Relacionando estas ideas con la asimetría que se observa en los cristales que tienen el poder de desviar el plano de polarización de la luz, mostrándose dextrogiros ó levogiros, según la posición de las facetas correspondientes á modificaciones hemiédricas del cristal, se ha

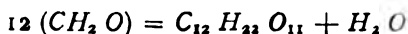
inferido que en toda molécula en que existan átomos de carbono asimétricos, se presentará la misma actividad óptica que los cristales asimétricos ejercen sobre el plano de rotación de la luz polarizada, y en aquéllas en que no exista la asimetría serán ópticamente inactivos. La experiencia ha confirmado este razonamiento patentizando que sólo desvían el plano de rotación de la luz polarizada los compuestos que tienen condiciones para contener en su molécula átomos de carbono asimétricos; y además, que á un compuesto dextrogiro corresponde siempre otro levogiro de idéntica composición, resultando una substancia inactiva de la unión de ambos.

Más todavía: hay substancias azucaradas como la *inosita*, muy abundante en las células vegetales y formada por reducción del anhídrido carbónico atmosférico, del mismo modo que la glucosa, que está constituida por los mismos elementos y en las mismas cantidades que ésta, y por estar agrupadas de diversa manera, constituyen un cuerpo de propiedades muy diversas á las glucosas por su función química fenólica hexavalente, cuya fórmula es  $C_6.H_6(OH)_6$ .

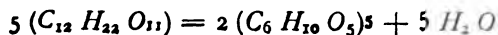
Además de estas multiformes agrupaciones atómicas y de las conversiones de unas en otras, tan frecuentes en el organismo celular, se ponen en libertad parte de sus energías potenciales, y las calorías que resultan, juntamente con las oxidaciones é hidrólisis, constituyendo fuentes de energía para el sostenimiento de la vida celular.

Innecesario es advertir, como dice muy bien Carracido en su *Química biológica*, que en los procesos vitales no se efectúan aisladamente las indicadas transformaciones químicas, sino que todas se desarrollan en actos solidarios, ya simultáneos, ya sucesivos, produciendo la compensación que se revela en el proceso metabólico de la materia viva.

2.º Doce moléculas de aldehído fórmico constituyen las *sacarosas propiamente dichas y maltosas*, con desprendimiento de agua.



3.º Cinco moléculas de sacarosa ó de maltosa, originan *féculas*, con desprendimiento de agua.



4.º La fórmula del almidón  $(C_6 H_{10} O_5)_3$ , más ó menos condensada y con el aditamento de varias moléculas de agua  $(C_6 H_{10} O_5)^n + m H_2 O$ , engendra la inulina, glucógeno, galactana, etc.

5.º Condensaciones más avanzadas que el almidón  $(C_6 H_{10} O_5)^n$ , siendo  $n$  superior á cinco (1), constituyen las celulosas (véase pág. 65) y gomas (véase pág. 71). Y las celulosas más condensadas originan la paracelulosa  $(C_6 H_{10} O_5)^n > 6$  y metacelulosa ó fongina  $(C_6 H_{10} O_5)^n > 7$ .

**a. Transformaciones celulósicas.** — Múltiples transformaciones parecen sufrir las celulosas, originando productos que siempre las acompañan. Así, perdiendo la celulosa carbono y agua, produce las *pentosanas*  $(C_5 H_8 O_4)^n > 3$ , entre las cuales se encuentran las *arabanas* mezcladas con las gomas y las *xilanas* (gomas de leño). Por hidrolisis, las pentosanas engendran las *pentosas*  $(C_5 H_{10} O_5)^n$ , llamándose *arabinosa* la procedente de la arabana, y *xilosa* (azúcar de paja) si proviene de la xilana (véase pág. 179).

Otra transformación importante de la celulosa por pérdida de oxígeno, y frecuentísima en la porción externa de las células vegetales epidérmicas y en muchas libres (polen, esporas), es la *cutina*  $(C_6 H_{10} O)^n$ . Y nada decimos de las transformaciones celulósicas como la *suberina*, constituyendo el corcho, la *callosa* de los tabiques cribosos, y los *principios pécticos* inseparables de la celulosa, porque todavía los químicos no han definido con precisión sus composiciones respectivas.

**aa. Incrustaciones celulósicas.** — Y por último, los *principios leñosos* menos conocidos que los anteriores y que los botánicos significan con el unívoco de *lignina*, son mezclas de muchos productos formados en el tráfigo vital citoplásmico, condensados é incrustados generalmente en el interior de las membranas celulares de los elementos histológicos adultos (vasos, fibras y células esclerenquimatosas). Dichos productos parecen ser *glucósidos* (coniferina, florizina); derivados de éstos, como la *vanilina* (oxidación de la coniferina), que es un éter metílico del aldehído protocatéquico, y la *floroglucina*, fenol trivalente que procede de la hidrolisis de la florizina; y

(1) Tomamos este exponente *cinco* para el almidón, como punto de partida; pero esto no puede asegurarse.



además *pentosanas* como la arabana y xilana (goma de leño), con sus derivados hidrolíticos *pentosas* respectivos, cuales son la arabinosa y xilosa (azúcar de leño).

**Formación de los ácidos vegetales.**—Muy abundantes en las células vegetales de ciertos órganos, como hojas (plantas crasas) y frutos, se producen generalmente en el proceso catabólico ó desasimilativo celular por oxidación de las sustancias orgánicas. Por esta razón, oxidando los hidrocarburos, alcoholes y aldehidos con cantidades de oxígeno tanto mayores cuanto menor es la contenida en los cuerpos orgánicos que han de producirlos, se engendran los ácidos artificialmente.

Y como fenómenos análogos de oxidación parecen haberse realizado en las células vegetales, según dijimos al tratar del origen alcohólico del almidón (véase pág. 368), bastarían nuevas oxidaciones sobre los aldehidos originados entonces para dar lugar á los ácidos respectivos.

**Formación de glucósidos.**—Estos cuerpos son éteres de la glucosa muy difundidos en el organismo vegetal y utilizados en terapéutica como medicamentos activísimos (véase página 180).

Ahora bien: como estos compuestos, por hidrolisis producen glucosa, y este cuerpo se puede considerar como alcohol pentatómico, además de aldehido, por su carácter alcohólico puede reaccionar con los ácidos y originar éteres, que, por formarlos la glucosa, han recibido el nombre de glucósidos.

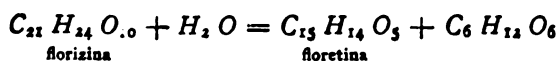
De consiguiente, se forman los glucósidos reaccionando en el seno del citoplasma las glucosas y ácidos vegetales.

Si el ácido vegetal tiene nitrógeno (ácido cianhídrico), el glucósido engendrado, como la *amigdalina*, será nitrogenado. Por hidrolisis da lugar á glucosa, aldehido benzóico y ácido cianhídrico (véase pág. 181).

Si el ácido no es nitrogenado, caso general, los glucósidos que originen tampoco serán nitrogenados.

Uno de los glucósidos más abundantes en la corteza de la raíz de los manzanos, cerezos y ciruelos, y que como ejemplo puede citarse, es la *florizina*.

Por hidrolisis, se desdobra en glucosa y floretina, y ésta á su vez en floroglucina y ácido floretínico (oxihydrocinámico), según las ecuaciones siguientes:



**Formación de los taninos.**—Los *taninos* ó ácidos tánicos son próximos á los glucósidos, y como ellos dan por hidrólisis glucosa y ácido (véase página 183). No cabe duda, por lo tanto, que el origen de su formación sea análogo al de los glucósidos.

**Formación de las grasas.**—Las *grasas* son éteres de la glicerina, del mismo modo que los glucósidos son éteres de la glucosa.

Reaccionando entonces los ácidos grasos (oléico...) con la glicerina (alcohol triatómico), se originan los cuerpos grasos.

II. **Células desprovistas de clorofila.**—En atención á la abundancia de la materia verde en las plantas y á la propiedad fisiológica por ella manifestada, los botánicos han formulado el principio siguiente: los elementos celulares sin clorofila son incapaces de descomponer el anhídrido carbónico, y, por consiguiente, de asimilar el carbono.

Esta conclusión, sin embargo, no debe considerarse como absoluta, teniendo en cuenta que otros pigmentos no verdes, absorbiendo radiaciones diversas según sea la coloración, dan al plasmio y al protoplasma que aquéllas impregnan la propiedad de efectuar la misma descomposición y fijación con desprendimiento de oxígeno. De aquí que se pueda enunciar el principio anterior de un modo más completo, diciendo que todos los elementos celulares sin materia colorante, son incapaces de descomponer el anhídrido carbónico y de asimilar el carbono.

Las materias colorantes aludidas pueden teñir á los *plasmios* ó al *protoplasma*.

Entre las primeras, recordaremos los cromoplasmitos clorofilicos enmascarados por otros pigmentos solubles en agua (azules, pardos, rojos, amarillos), como acontece en las algas (véase págs. 137 y 138), y además los cromoplasmitos aclorofilicos (véase pág. 139). Tanto unos como otros originan almidón, el cual es utilizado por el plasmio respectivo para la elaboración del pigmento correspondiente, pues es constante

que el almidón se reabsorbe á medida que los cromoplasmitos (sean ó no verdes) se organizan (véase págs. 116 y 139).

Respecto á los *amiloplasmitos*, llamados como los anteriores *chromatóforos*, á pesar de ser incoloros (véase pág. 108), se encuentran en los órganos desprovistos de clorofila (raíces, tubérculos, rizomas, semillas...), y gozan de la condición de elaborar principalmente almidón. Mas este almidón no se produce por descomposición del anhídrido carbónico, como ocurre en los cromoplasmitos, sino que lo engendran á expensas de diversos principios orgánicos (azúcares, alcoholes, etc.), formados previamente por los plasmitos colorantes y recibidos por transmisión citódica y osmótica. Así sucede que unas veces forman almidón deshidratando las glucosas; otras, oxidando los alcoholes (glicerina) y produciendo aldehidos, que á su vez, polimerizados, originan almidón; ya oxidando las manitas, alcoholes metílicos, etc.; en fin, formando almidón por todos los procedimientos indicados anteriormente, á excepción, como es natural, del indicado como exclusivo de las células verdes.

Notemos de paso que los cromoplasmitos verdes se comportan en la obscuridad como los amiloplasmitos (véase lo dicho acerca de la judía, págs. 141 y 364). Del mismo modo la gran reserva de almidón que se acumula en las patatas, raíz de Ficaria, etc., procede de la actividad de los amiloplasmitos.

Entre las materias colorantes que tiñen uniformemente al protoplasma (1), se encuentra la *bacterio-purpurina* de varias células de la familia Bacteriáceas, como el *Bacterium rufescens*, *Bact. photometricum*, *Bact. Okeni*, *Micrococcus cimosus*, *Clathrocystis roseo-persicina*, etc.

Esta substancia, cuyo color varía del púrpura azulado al púrpura pardo, absorbe con energía las radiaciones vecinas á la raya *F*, raya *D* y región infra-roja del espectro entre  $\lambda = 0,8$  y  $\lambda = 0,9$ , y deja pasar las radiaciones entre *B* y *C* que la clorofila absorbe con fuerza. Con estas radiaciones, tanto en la región infra-roja obscura como en la luminosa, estas algas descomponen el anhídrido carbónico y dejan en libertad el oxígeno.

Para demostrarlo, se tomará como base una de estas algas

(1) Engelmann, *Les Bacteries pourpres et leurs relations avec la lumière* (*Archives neerlandaises*, XXIII, pág. 151, 1889).

bacteriáceas purpurinas, ó bacterias incoloras ávidas de oxígeno (*Bact. termo*), y además el objetivo microspectroscópico de Engelmann, siguiendo en un todo el procedimiento experimental indicado en la pág. 119.

En suma: las células vegetales que se hallan desprovistas de materia colorante (clorofila, bacterio-purpurina), apropiada para absorber las radiaciones necesarias á la descomposición del anhídrido carbónico, son incapaces de asimilar el carbono. De consiguiente, si en estas condiciones la vida de las células ha de prevalecer y continuar, es de precisión absoluta reciban directa ó indirectamente del medio en que se encuentran el alimento indispensable á sus desarrollos, bajo la forma de compuestos orgánicos más ó menos complejos, que por lo menos sean de composición ternaria carbonada, ora procedan de síntesis naturales por asimilación del carbono de las células verdes (azúcar ácido tártrico), ora por síntesis artificiosas de laboratorio (alcohol, ácido acético). He aquí por qué se puede sostener indefinidamente el crecimiento de algunas plantas inferiores (*Micrococcus aceti*, *Saccharomyces cerevisiæ*), sirviéndose del alcohol como alimento carbonado; y también que muchas algas (bacterias) y hongos vivan á expensas de ciertos seres animales y vegetales, ocasionando multitud de enfermedades en su vida parasitaria.

Ahora bien: la consecuencia que se desprende de lo anteriormente expuesto es que la totalidad de las plantas desprovistas de materia colorante, en general verde (Hongos, Bacteriáceas, diversas fanerógamas como las Rafflexiáceas, Cuscuta, etc.), no pudiendo asimilar el carbono del anhídrido carbónico, lo han de adquirir para su desarrollo, bien de substancias orgánicas en descomposición (*saprofitismo*), ó bien indirectamente de otros seres vivos que lo contengan, resultando de aquí el *parasitismo* ó *simbiosismo*, según que la asociación de ambos sea beneficiosa para sólo uno de ellos ó para los dos.

α. **Saprofitos.**—Se denominan vegetales *saprofitos* aquéllos que se nutren directamente de substancias orgánicas animales ó vegetales en descomposición (humus...)

Así, un trozo de pan embebido de agua es pasto del hongo *Penicillium glaucum* que cubre la superficie de una coloración verdosa pálida. Las boñigas del ganado vacuno, así como la

basura del caballar, pronto se recubren de hongos, bien del género *Mucor*, bien, y principalmente en el caballar, del *Coprinus stercorarius*; los cadáveres de las moscas y arañas que se pudren en el agua, con especies del género *Saprolegnia*. Y en fin, muchos de estos micro-organismos provocan y aceleran la desorganización de los cuerpos que les sirven de alimento, como también la rápida destrucción de los tallos y vigas que se encuentran en lugares húmedos y sombríos.

Si al grupo de las Bacterias nos referimos, á excepción de las verdes y purpurinas (1), todas ellas son ordinariamente incoloras y susceptibles de vivir, sin excepción alguna, en medios alimenticios ó de cultivo apropiados, ó sea de un modo saprofítico. Así, por ejemplo, las bacterias cromógenas como el *Micrococcus prodigosus*, forma sobre el pan húmedo, hostias, etc., colonias gelatinosas que segregan un principio colorante de color rojo de sangre: las mismas bacterias fermentos nitrosa y nítrica ya conocidas (*Micrococcus nitrosus* y *M. nitricus*), se desarrollan en las sustancias animales y vegetales descompuestas que se hallan en el suelo ó tierra arable, y, finalmente, las bacterias patógenas, causa de las enfermedades que originan en los organismos animales por las toxinas que excretan á medida que se desarrollan (cólera, fiebre tifoidea, rabia, difteria, carbunco), lo mismo que en los vegetales, pueden ser saprofitas, pues casi todas ellas pueden cultivarse fuera de los organismos en medios inertes adecuados.

Con razón el saprofitismo debe considerarse como medio de vida fundamental y original de todos los seres sin clorofila (algas y hongos), y sólo una adaptación interior sobre los seres vivos que ofrecen un alimento más completo á veces, ó un medio más favorable al ejercicio de su vida, puede hacer que cambien de medio eligiendo la vida parasitaria.

**aa. Parásitos.**—Con el nombre de parásitos designamos á todos los vegetales que se apropian del alimento carbonado elaborado por otros seres organizados, con perjuicio manifiesto de éstos.

En esta asociación *antibiósica*, inarmónica y desigual, el parásito se aprovecha sin cesar de los jugos de su víctima, la

(1) Verdes (*Bacterium viride*, *Bacillus viridis* y *virens*) y bacterio-purpurinas (*Bacterium rufescens*, etc., y diversas sulfobacterias).

que á su vez, para contrarrestar la acción de tan molesto advenedizo, ejerce una resistencia pasiva en consonancia con las energías de que dispone, y de cuya eficacia depende el que perezca ó prevalezca en la lucha.

El parasitismo puede ser *parcial* ó *total*. Es *parcial* siempre que el vegetal parásito tenga color verde, mediante el cual asimila directamente el carbono, en cuyo caso, como sucede en el *Muérdago* que vive sobre los tallos del manzano, olivo, pino, etc., y el *Melampiro* que implanta sus raíces sobre las de las gramíneas próximas, no reciben de la planta nutrición más que parte de su alimento, y el daño que ocasionan es relativamente pequeño. Es *total* siempre que el parásito no posea color verde, como la *Cuscuta* sobre el cáñamo y otras plantas; el *Orobánque* sobre la raíz de la alfalfa, etc.; el *Cistopus candidus* sobre muchas crucíferas; el *Phytophthora infestans* sobre la patata; la *Puccinia graminis* sobre el trigo y agracejo, y las bacterias patógenas sobre los seres vivos. En todos estos casos el daño que producen es grandísimo, terminando por esquilmar ó agotar y matar á los seres nutricios.

El parasitismo también puede ser *facultativo* ó *absoluto*. Numerosas plantas, ordinariamente parásitas, viven con frecuencia en vida saprofítica, mientras que otras resisten á los medios de cultivo hasta hoy indicados, y parecen irrevocablemente adaptadas á la vida parasitaria.

Diremos, por consiguiente, que presentan *parasitismo facultativo* aquellos seres que se dejan fácilmente cultivar al estado libre, como el *Muérdago*, *Orobánque*, *Lathræa* y numerosas especies de Bacterias patógenas (bacilo del carbunco, cólera...) Y *parasitismo necesario* ó *absoluto*, todos los que rehusan ó han rehusado hasta la fecha á vivir independientemente en medios nutritivos convenientes, como la *roya* del trigo.

Si el parasitismo se establece sobre una sola y determinada planta, se dice que el parásito es *monóico* ó *monofito*, como la *Peronospora viticola*, que origina la enfermedad llamada *mildew* de la vid; pero si en el desarrollo pasa ó se traslada el parásito de una planta á otra, entonces recibe el nombre de *heteróico*, *dióico* ó *difito*, como sucede con la *roya* del trigo, que se propaga de esta planta al agracejo, é inversamente.

**aaa. Simbiosismo.**—Con el nombre de *simbiosis* denominamos la asociación bilateral ó consorcio de dos seres que se be-

nefician recíprocamente en su alimentación, ó sea la conjunción armónica de dos unidades morfológicas constituyendo una fisiológica.

La simbiosis se efectúa de ordinario entre vegetales (*simbiosis fitofítica*), y á veces entre plantas y animales (*simbiosis zoofítica*).

Cuatro clases de simbiosis exclusivamente vegetales ó fitofíticas indicaremos: 1.<sup>a</sup> Los *líquenes*, muy abundantes en las cortezas y en el suelo, son complejos de *algas verdes* (Proto-cocáceas, Palmeláceas y Nostocáceas), y de *hongos* en general Ascomicetos. La asociación así formada es de beneficio recíproco, algo desigual. El alga vive bien separada ó aislada por su color verde; pero unida al hongo, que le ofrece abrigo, frescura y alimento nitrogenado y mineral, se desarrolla con más vigor. El hongo se desarrolla muy mal estando aislado, y tiene necesidad de unirse al alga, de la cual recibe el alimento carbonado para fructificar. Del entrelace íntimo de los dos seres, regulando sus crecimientos respectivos, se forman los líquenes, plantas innumerables que desempeñan un papel importantísimo en la vegetación del globo. 2.<sup>a</sup> Las asociaciones entre las *raíces* jóvenes de diversos árboles (haya, roble, castaño), y ciertos *hongos* calificados de *micorriños*. Aquéllas abrigan y nutren en la capa periférica al hongo, que á su vez absorbe para ellas el agua y las materias solubles que contiene el suelo. 3.<sup>a</sup> La simbiosis de *bacteriáceas* y de *raíces*, que, como el *Rhizobium Leguminosarum* (bacteroide), se fija en las raíces de ciertas plantas (alfalfa, altramuz, etc.), y cuyo estudio ha sido hecho en capítulo anterior (véase pág. 304). Y 4.<sup>a</sup> Simbiosis fermentos, es decir, asociaciones de bacterias fermentos (*Dispora caucasica*) y hongos fermentos (levaduras), á cuya coexistencia son debidas las fermentaciones que dan lugar al *kefir* y al *koumiss*, bebidas alcohólicas y acídulas de las partes montañosas del Cáucaso y del Sudeste de la Siberia respectivamente (véase pág. 201).

La simbiosis zoofítica tiene lugar entre algas verdes unicelulares llamadas *zooclóricas* y diversos animales. Así acontece que ciertas algas Palmeláceas viven en el interior de algunos animales (*Stentor polymorphus*, *Paramæcium*, *Hydra*...) en perfecta armonía, y esta circunstancia ha hecho creer á algunos naturalistas que estos seres poseían clorofila.

## CAPITULO II

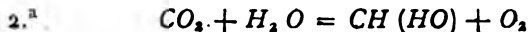
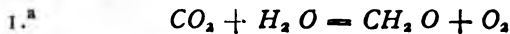
ASIMILACIÓN (CONTINUACIÓN)—SÍNTESIS FOSFO-ORGÁNICA  
 SÍNTESIS DE LAS SUBSTANCIAS ALBUMINOIDEAS — MATERIALES EN  
 RESERVA — DIGESTIÓN INTRACELULAR: PRINCIPIOS  
 DIASTASÍGENOS — CRECIMIENTO CELULAR

**Síntesis orgánica fosforada.**

Esta segunda fase asimilativa se relaciona con la molécula orgánica encontrada por Posternak, ó sea con el ácido anhídrido oximetileno difosfórico (véase pág. 195).

En efecto: según las experiencias de Schimper (1), la transformación de los fosfatos minerales que á las hojas llegan en moléculas orgánicas fosforadas, se halla subordinada al funcionamiento del aparato clorofílico. Además, la circunstancia de que los productos fosfosintéticos sean conducidos á medida que se forman, á las células parenquimatosas y embrionarias de la planta, y á los lugares donde se acumulan los materiales en reserva, sin llegar en estos momentos á la síntesis albuminoidea, nos dice que la agrupación orgánica asociada al ácido fosfórico en el compuesto de Posternak, *nace mientras se verifica la reducción clorofílica del gas carbónico.*

Sabemos que en la función clorofílica, la célula verde toma carbono y desprende oxígeno; y también conocemos (pág. 365) que, según las circunstancias en que la célula se encuentre, dicho carbono, al reaccionar con el agua, produce compuestos totalmente diferentes, según las ecuaciones siguientes:



Bajo el primer aspecto, el aldehído fórmico se polimeriza y origina glucosas.

En el segundo se forma como reservas el éter alcohólico

(1) *Botanische Zeitung*, 1888, pág. 65.



isomero del aldehído  $CH(OH)$ ; y como este cuerpo no puede existir libre (á juzgar por los resultados de la descomposición del ácido fosfórico), una de dos: ó se asocia duplicado al ácido fosfórico de los fosfatos minerales, y forma la síntesis orgánica fosforada, que como material de reserva es conducida á los tejidos correspondientes; ó se sextuplica originando la inosita  $C_6H_6(OH)_6$ , como el óxido de carbono reducido por el potasio se condensa en hexafenol.

Se comprende, según esto, que dicho éter alcohólico  $CH(OH)$ , formado en las hojas por los cloroplastos, sea utilizado por éstos para formar, según las circunstancias, hidratos de carbono, substancia fenólica fosforada (ácido anhidro oximetileno difosfórico), albuminoides, etc., y de no ser utilizado se engendre la *inosita*, muy abundante en las partes verdes de ciertas plantas (véase pág. 179).

La producción por oxidación de la inosita del hexafenol (Maquenne) obtenido ya á partir del óxido de carbono (Lerch), puede ser considerada como una demostración de la estrecha relación de la inosita con el anhídrido carbónico, del cual se deriva por simple reducción.

### **Formación ó síntesis de las substancias albuminoides.**

Como preámbulo y para entrar en éste tan incógnito proceso, recordemos las consecuencias que se dedujeron de los hechos relativos á la asimilación de las sales nitrogenadas, cuales son (véanse págs. 310 á 312): 1.<sup>a</sup> Que los nitratos desaparecen activamente en las hojas expuestas al sol y se acumulan en la obscuridad, lo que atestigua la solaridad de la asimilación del ácido nítrico y del anhídrido carbónico. 2.<sup>a</sup> La asimilación de los nitratos exige la presencia de la clorofila y la intervención de la radiación solar, como la asimilación del anhídrido carbónico. 3.<sup>a</sup> Las sales amoniacales no exigen, para ser asimiladas, la intervención de la clorofila. Y 4.<sup>a</sup> Las hojas verdes alimentadas con sólo nitratos, se enriquecen en sales amoniacales, y, por tanto, la reducción de los nitratos en el seno del protoplasma, es anterior á la incorporación del nitrógeno á los compuestos de aquél.

Además, como en esta fase asimiladora ó síntesis albumi-

noidea, la asimilación del nitrógeno, á partir de los compuestos ternarios, es una propiedad general del protoplasma, al cual le es indiferente que la célula sea verde ó incolora, expuesta á la luz ó en la obscuridad, y provista ó no de anhídrido carbónico, debemos estudiar los dos aspectos de la cuestión; es decir, debemos, en primer lugar, indicar las hipótesis respecto á la formación de las sustancias albuminoideas en el citoplasma con la base de la asimilación del carbono por los cloroplastos, y después explicar dicha formación en las células incoloras, bajo la dependencia única y exclusiva del protoplasma, partiendo, como es natural, de cuerpos ternarios carbonados ó de hidratos de carbono.

1. *La síntesis clorofiliana de los principios albuminoideos* se puede concebir, según Belzung, de dos maneras: *directa* ó *indirecta*.

1.º En la *síntesis indirecta* se admite, como fenómeno preparatorio, la producción de hidratos de carbono (azúcar, almidón) por asimilación clorofilica, y como fenómeno consecutivo esencial, la reacción desconocida del ácido nítrico ó de sales amoniacales (1) sobre dichos principios orgánicos, resultando compuestos como glucósidos, amino-ácidos, etc., que tan esparcidos se hallan en las células vegetales. Estos compuestos, á su vez, se unirán entre sí y darán origen á los principios albuminoideos que encierra toda célula viva.

2.º En la *síntesis directa* se supone formadas las materias albuminoideas, en la asimilación clorofilica total, por combinaciones simultáneas de los nitratos reducidos, con los hidratos de carbono por los cloroplastos elaborados; en cuyo caso, tanto el almidón incluido en los cuerpos clorofilicos, como los principios nitrogenados solubles (amino ácidos...), provendrán ulteriormente de oxidaciones ó desdoblamientos de los principios protéicos, sin que la clorofila intervenga en esta génesis, sino simplemente la actividad protoplásmica.

Hemos visto anteriormente los argumentos que militan en favor del origen albuminoideo del almidón (pág. 371) por génesis desasimilativa. Por tanto, la hipótesis de producción de compuestos orgánicos nitrogenados por el mismo mecanismo,

(1) En todo lo que sigue, téngase presente que á los nitratos acompañan sulfatos y fosfatos para la formación de sustancias albuminoideas.

debe ser conceptuada de un modo semejante. La descomposición de los albuminoides será entonces comparable á la hidratación diastásica, por la cual la amígdalina, glucósido nitrogenado abundante en las hojas del laurel cerezo, se descompone en hidruro de benzoilo, glucosa y ácido cianhídrico. Además, en el *Pangium edule* el ácido cianhídrico parece existir en la hoja al estado libre, acompañado de glucosa, y su producción ha sido reconocida como independiente de la luz.

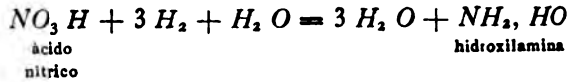
Traub, estudiando el origen fisiológico del ácido prúsico en la planta citada, lo considera como el primer producto genésico de la asimilación del nitrógeno; y basándose en esta hipótesis, la generaliza diciendo que en todas las plantas es el ácido prúsico el primer compuesto, formado por la combinación de los hidratos de carbono y las materias nitrogenadas absorbidas por las hojas verdes.

Si por otra parte observamos que las materias albuminoideas, en presencia de agentes oxidantes, originan, independientemente á los amino-ácidos y ácidos orgánicos, compuestos cianicos como los nitrilos (éteres cianhídricos), entre los cuales los más notables son el acetonitrilo ó cianuro de metilo, y el propionitrilo ó cianuro de etilo, es un argumento más en favor del origen albuminoideo del ácido cianhídrico ó prúsico, ora se halle al estado libre disuelto en el jugo celular, ya en combinación con otros cuerpos orgánicos.

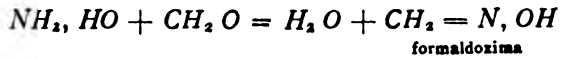
Ahora bien: si no es posible demostrar con certeza, en el estado actual de la ciencia, que los productos orgánicos nitrogenados (glucósidos, amino-ácidos...) que se encuentran en las hojas, son engendrados posteriormente á los principios albuminoideos, en cambio, la solidaridad entre la asimilación del anhídrido carbónico y del alimento nitrogenado por excelencia, ó sea el ácido nítrico, apoyada con el resultado de los hechos descritos anteriormente, conducen á considerar, como fenómeno clorofílico inicial, la síntesis de los albuminoides (lecitina...), á la que directamente tiende en definitiva la actividad creadora de la hoja.

Ambas hipótesis, tanto directa como indirecta acerca de la formación de las sustancias albuminoideas, parecen tener más clara explicación, partiendo de la reducción de los nitratos,

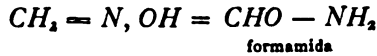
hasta llegar á la *hidroxilamina*, según la ecuación siguiente:



Combinada ésta con el aldehído fórmico, originado por reducción del anhídrido carbónico, se produce la *formaldoxima*:



que por transformación molecular se convierte en la agrupación más estable de la formamida



Este cuerpo, constituido por la asociación del grupo aldehídico y amidógeno, resulta admirablemente conformado para originar múltiples asociaciones y realizar la síntesis de los albuminoides, por el gran poder de combinación de los radicales generadores (Carracido).

II. *La síntesis de las sustancias albuminoideas en las células incoloras* ó desprovistas de materia colorante (hongos, bacterias, etc.), se verifica en el seno de los protoplasmas respectivos, partiendo del nitrógeno y de los compuestos carbonados por las células absorbidas.

Los materiales primeros de esta asimilación son el ácido nítrico ó el amoniaco adquiridos por la célula del medio exterior bajo la forma de nitratos ó sustancias amoniacaes, y de hidratos de carbono recibidos por ausencia de clorofila, saprofítica, parasitaria ó simbióticamente.

En estas condiciones, ó *directamente* y por analogía con lo dicho anteriormente, el ácido nítrico, antes de combinarse con los hidratos de carbono para formar la sustancia albuminoidea, sufre una reducción, y el oxígeno resultante, sin desprenderse al exterior, quema interiormente las sustancias en vía descendente ó desasimilativa, constituyendo diversos cuerpos y principalmente los ácidos orgánicos; ó *indirectamente* y por marcha progresiva sintética, se combinan primero los ni-

tratos é hidratos de carbono, originando amino-ácidos (esparaguina, leucina, tirosina), y uniéndose éstos después, engendran las substancias albuminoideas.

Innecesario es advertir que las células vegetales, y principalmente las bacterias patógenas, abrevian casi por completo el trabajo asimilativo siempre que se hallan rodeadas de combinaciones nitrogenadas más ó menos complejas, bien procedan de síntesis naturales operadas por otras células, ya producidas por síntesis artificiales de laboratorio.

Hemos terminado: si con lo dicho creemos, al parecer, haber llegado á la cima de estos procesos asimilativos tan oscuros y laberínticos, estamos bien lejos de haberlo conseguido; pues aun suponiendo verdades inconcusas las diferentes hipótesis explicadas, con las que hemos dado aparente claridad á la sucesiva formación de los hidratos de carbono, grasas, moléculas fosforadas y substancias albuminoideas, ocurre preguntar: ¿Cómo se llega al protoplasma? ¿Cómo se explica que la materia albuminoidea de que se compone adquiera esa estructura, esa inestabilidad, y esa disposición ú organización de partes tan *sui generis* que caracteriza á la materia viva? En una palabra, ¿qué combinación de fuerzas ha surgido para que la materia amorfa se transforme en materia organizada? Oigamos á Gogorza (1) en este punto:

«Hoy no es posible encontrar explicación satisfactoria de estas importantísimas cuestiones. Max. Schulze indica este conjunto de cambios que se operan en el interior de la célula, con el nombre de *actividad formatrix* de la célula. Esta actividad formatrix del cuerpo protoplásmico es de una importancia extraordinaria, pues gracias á ella se producen las numerosas variedades y formas de elementos celulares que dan, sobre todo al organismo animal, tan alta perfección morfológica; á ella es debida, además, la notable división del trabajo de la célula y la extraordinaria actividad funcional de las asociaciones celulares.»

En vista de esta contestación y lógicamente pensando, ¿cuál es la diferencia entre esta *actividad formatrix* ideada por Schulze y la *fuerza vital* de la célula? Ninguna seguramente.

Y para no filosofar más sobre este punto, pues siempre ire-

(1) José Gogorza, *Elementos de Biología general*, 1905, pág. 256.

mos á parar al mismo principio, concretémonos á creer, como la ciencia determina, en una *fuertza ó actividad especial*, llámese como se quiera, que ordena y regula todos los fenómenos metabólico-celulares en los seres organizados, impuesta, como las leyes fundamentales de la materia, por la *Causa Causarum* de todo lo creado.

#### MATERIALES EN RESERVA

Son sustancias generalmente orgánicas que, por ser excedentes al gasto intracelular, las deposita el protoplasma inmovilizadas ó en forma no asimilable dentro de la célula, para ser utilizadas más tarde, previas ciertas transformaciones, en ulteriores beneficios funcionales, y principalmente en el crecimiento.

Ya dijimos, comparando la asimilación con la desasimilación (pág. 351), que si los productos incorporados en las células exceden al gasto ó consumo que el protoplasma necesita para elaborar sustancias, dichas células, para no perder su equilibrio funcional, transforman los materiales que rebasan en las mismas, en *substancias de reserva*, y las almacenan en el protoplasma, plasmitos ó jugo celular de cada una de ellas para ser utilizadas posteriormente.

Si á los seres pluricelulares nos referimos, bien puede decirse, en tesis general, que no existe órgano vegetal que en alguno de sus tejidos no almacene para ulteriores necesidades de estas sustancias alimenticias, si bien estos depósitos se hallan con preferencia en aquellos órganos que, como las semillas, tubérculos, etc., se sirven de este auxilio alimenticio en los primeros esbozos de su vida activa. Allí es donde tan esenciales alimentos están colocados de mano maestra, pues al amparo de dichas reservas, los rudimentos de nuevas producciones, embriones ó vegetales en miniatura por dichos órganos encerrados, pasan de la vida latente á la vida activa; y he aquí explicado el por qué la naturaleza, y el hombre copiando á ésta, disocia ó separa estos elementos ó partes de la planta madre, con el fin exclusivo de multiplicar los vegetales y propagar de esta manera y según los casos los individuos ó las especies.

Por eso durante las primeras fases de la germinación de una

semilla ó de un tubérculo, las reservas interiores alimentan casi exclusivamente su desarrollo, abstracción hecha del agua y del oxígeno que toman del medio ambiente; pero una vez que las plantas correspondientes han desarrollado sus raíces, conságranse éstas á absorber las substancias alimenticias disueltas en los jugos de la tierra, y asegurando así los crecimientos de los vegetales, llegan al estado adulto, transformando de paso en reservas nuevas, parte de los materiales asimilados.

Solamente en el caso de un germen microscópico y en el que la reserva nutritiva es insuficiente, el desarrollo del cuerpo es casi exclusivamente satisfecho con el alimento del medio exterior. Sirvan de ejemplo las esporas en germinación de los Hongos, Bacterias, etc.

Sabemos también que las materias en reserva (pág. 353) se almacenan en las células en distintas fases del trabajo asimilador y algunas veces del desasimilador, bien en forma de *reservas figuradas* en el protoplasma, bien como *reservas disueltas* en el jugo celular. Entre las reservas figuradas, mencionaremos: 1.º, principios albuminoideos (granos de aleurona, cristaloideos...); y 2.º, principios ternarios (almidón, celulosa de reserva, grasas). Y entre las reservas disueltas: 1.º, albúmina y cuerpos vecinos (fibrina y caseína vegetales); 2.º, aminoácidos y glucósidos; 3.º, substancias fosforadas; 4.º, hidratos de carbono (azúcares, inulina, galactana, glucógeno); y 5.º, ácidos orgánicos (málico, cítrico).

Pero como hemos indicado que la génesis de formación de todos estos productos ha sido gradual en el proceso asimilativo, es natural que estando ahora estudiando la asimilación, sigamos el orden establecido, indicando primero las reservas hidratos de carbono y otros productos ternarios, y sucesivamente después las grasas, materias fosforadas y reservas albuminoides.

Indicar aquí cómo se han formado todos estos materiales de reserva, que á su vez han sido objeto de estudio particular en la morfología celular, equivaldría á repetir todo lo dicho respecto al proceso asimilativo de cada uno de ellos, sobre los que no hemos de insistir más.

Recordemos únicamente: 1.º Que casi todos los hidratos de carbono son originados por condensaciones del aldehído fór-

mico (primer producto hipotético de la asimilación del carbono), y por deshidrataciones de la glucosa, considerada hoy día como el producto más difusivo, estable y asimilable de todos los demás. 2.º Que los ácidos son formados por oxidaciones de cuerpos aldehidos. 3.º Que las grasas son procedentes de la mezcla, en proporciones variables, de la glicerina (alcohol tri-dinamo) y ácidos grasos (oléico...) 4.º Que la materia fosfórica de Posternak (ácido fosfo-orgánico), muy abundante en las semillas del abeto, calabaza, guisante, etc. (véase pág. 195), es el resultado de la combinación del éter alcohólico isomero del aldehido  $CH(OH)$  bicondensado con el ácido fosfórico, encerrando en sí una cantidad de fósforo superior á la lecitina y sirviendo por ello más que ésta en la nutrición del embrión. 5.º Que los amino-ácidos (esparraguina, leucina, tirosina) proceden de la combinación de los hidratos de carbono ó compuestos ternarios, con los nitratos ó sustancias amoniacaes. Y 6.º Que las sustancias albuminoideas se engendran por la unión de estos amino-ácidos entre sí.

Y como hemos dicho que en procesos desasimilativos se originan también materiales en reserva, indicaremos: 1.º Que las sustancias albuminoideas, deshidratándose, dan lugar á la substancia fundamental de los granos de aleurona y á los cristaloideos protéicos, como en las semillas (*Ricinus*, *Bertholletia*). Y 2.º Que por oxidaciones sucesivas, principiando por los albuminoides, se forman en sentido inverso todos y cada uno de los materiales de reserva indicados anteriormente.

Además, si agregamos á los procesos explicados el interesantísimo papel fisiológico de los fermentos en la vida celular, tendremos completado el cuadro de todos los fenómenos metabólicos que en los seres organizados, tanto animales como vegetales, se realizan.

Ahora bien: como los materiales de reserva se hallan en las células en un estado tal de inmovilización que parecen ajenos á todo trabajo asimilativo, de nada servirían dichos productos si no pudieran ser reasimilados á medida de las necesidades funcionales de los seres. Y como en la naturaleza no hay nada que no esté previsto, á conseguir dicho fin surgen ciertas substancias intracelulares que, con el nombre de diastasas, zimasas ó fermentos solubles, obran como agentes de hidratación, de desdoblamiento, etc., sobre aquellas reservas, produciendo



cambios en su constitución, de tal naturaleza, que las transforman de no asimilables en asimilables.

**Digestión intracelular.**—De lo dicho se deduce que con este título, ó con el sinónimo de *digestión de reservas*, debemos entender la serie de transformaciones hidrolíticas y de desdoblamiento operadas por los fermentos en el seno de las células, mediante las cuales las substancias insolubles ó no asimilables pasan á solubles y asimilables.

La digestión intracelular es uno de los fenómenos más generales de la vida de las células. Se efectúa siempre que un alimento actualmente inasimilable y hasta entonces depositado en reserva, sea necesario para ulteriores beneficios de la planta.

Los agentes de la digestión son las *diastasas*, principios nitrogenados neutros, segregados por el protoplasma en el momento funcional de transformación. Estas substancias por *hidrolisis*, *desdoblamientos*, etc., transforman las reservas inasimilables en productos susceptibles de incorporarse á la materia viva.

La presencia de estas diastasas en la célula es forzosa en grado sumo, no sólo para empezar la marcha en el trabajo asimilativo y el crecimiento que resulta en sus intervalos de reposo, sino también para la continuación misma de la síntesis y crecimiento en el período de actividad celular, pues sabido es que este último parece siempre cumplirse á expensas de materiales de reserva.

La digestión interna es particularmente activa en los cotiledones de las semillas sin albumen, en período de germinación (judía, haba), en los albúmenes oleaginosos (ricino, pino), en los tubérculos (patata), bulbos (azucena, cebolla), y otras formaciones ricas en reservas.

Los albuminoides solubles (legumina...) ó insolubles (conglutina, cristaloides, aleurona), son hidratados en medio ácido por una pepsina, que las convierte en *peptonas*. Pero como estas peptonas, al presente desconocidas, no son estables, sino transitorias y fugaces, sufren, á medida que se producen, una descomposición más profunda, dando por resultado principios más sencillos, disueltos en el jugo celular, y cristalizables, denominados amino-ácidos (esparraguina, leucina...)

Estos amino-ácidos disueltos en el jugo celular de los órganos vegetativos jóvenes, procedentes de la germinación de las semillas aleúricas, se combinan con las glucosas elaboradas por dichos órganos en sus procesos de vida activa, máxime si se ha originado el color verde y forman los amino-glucósidos, ó sea la reconstrucción de los albuminoides.

Si en la molécula fosfórica fijamos nuestra atención, recordemos (pág. 196) que dicho cuerpo, calentado con los ácidos minerales diluïdos, experimenta una hidrolisis, desdoblándose en *inosita* y *ácido fosfórico*. Es probable que en las células vegetales esta reacción tenga lugar por medio de algún fermento que pudiera llamarse *fosforina*, pues de otro modo sorprende que intervenga el fósforo con tanta intensidad en la nutrición del embrión.

Otras muchas hidrolisis que los fermentos producen indicaríamos respecto á glucósidos, taninos, grasas, celulosas, sacarosas, maltosas, inulinas, trehalosa, lactosa, pectina, almidón, etc.; pero todas ellas han sido objeto de estudio especial en el capítulo de las diastasas, que no hemos de repetir y cuya lectura recomendamos (véanse págs. 205 á 216).

**Principios diastasígenos.** — Generalmente es indispensable cierto período de reposo en la planta (semilla, tubérculo) para elaborar los principios protéicos complejos de donde proceden las diastasas.

La planta no es capaz en cualquier momento de elaborar las sustancias diastásicas necesarias á la digestión de las reservas, aun suponiendo satisfechas todas las demás condiciones necesarias á la manifestación de la vida.

Así sucede que buen número de semillas (*Amigdalus*) y tubérculos (patata) resisten á germinar inmediatamente después de haber adquirido el volumen propio á su madurez, y á pesar de estar provistas de reservas normalmente constituidas.

Esto nos indica que el desarrollo de la planta no tiene lugar sin la madurez de los principios diastasígenos.

El estado de madurez de los fermentos sin el cual no es posible la digestión de las reservas, y, por tanto, la germinación de las semillas y tubérculos, es variable, comparado con la madurez de los frutos.

Dicha madurez interior, ó de los fermentos, coincide á veces

con la madurez exterior, y se confunde entonces con la del fruto; pero en muchas plantas *precede* á ésta, y en otras, por el contrario, *sucede* á ella.

El primer caso se presenta en muchas Papilionáceas (judía, haba, guisante, lenteja, etc.), Gramíneas (trigo, cebada, centeno), fresno, etc. Estas plantas pueden germinar cuando sus semillas no han llegado todavía á la mitad del volumen que ofrecen terminada su maduración, siendo el vigor ó desarrollo de ellas el mismo en un caso y otro.

El segundo caso lo encontramos en las semillas del rosál, es-pino, majuelo, almendro, etc., que colocadas en las condiciones de medio más favorables, tardan dos años y á veces más para entrar en período franco germinativo. Esto bien á las claras nos dice que la semilla no había madurado interiormente, á pesar de estar terminada la del fruto.

Esta madurez interna, sinónima de la madurez de los fermentos, y distinta de la de los frutos, se adquiere poco á poco por lentas transformaciones internas, y por eso decíamos en un principio que es generalmente indispensable cierto período de reposo en las plantas, para que se elaboren los principios protéicos de donde proceden las diastasas.

#### CRECIMIENTO CELULAR

El aumento de volumen adquirido en un tiempo dado, sin tener en cuenta las partes que pueden haber desaparecido durante el mismo tiempo, recibe el nombre de *crecimiento*; y *velocidad de crecimiento* la relación de este crecimiento en la unidad de tiempo.

La *asimilación* es la condición del crecimiento, y, por consiguiente, de la *multiplicación celular* causada por la limitación de aquél.

El crecimiento es la resultante de la asimilación y desasimilación. En efecto: la asimilación no lleva consigo un aumento de talla ó de peso seco en el cuerpo de la planta, porque la célula viva es asiento, al mismo tiempo, de fenómenos antagónicos al precedente, en virtud de los cuales la materia protoplásmica experimenta una descomposición ó desasimilación.

Esta desasimilación ó desnutrición se opera sencillamente

por oxidación (respiración) y por desdoblamientos, dando lugar á productos ricos en oxígeno, de los cuales unos son susceptibles de ser nuevamente asimilados (anhidrido carbónico por las plantas verdes, ácidos orgánicos, amino-ácidos, hidratos de carbono); otros son eliminados, bien directamente al medio exterior (anhidrido carbónico para las células sin clorofila y para las verdes en la obscuridad), bien en cavidades interiores, como los canales secretores (productos de secreción), sin empleo nutritivo ulterior. Esta descomposición orgánica origina un decrecimiento en el cuerpo correlativo de producción de energía, como el calor, etc.

Según esto, el crecimiento efectivo de la masa seca de una planta en un tiempo dado, corresponde á la resultante de la síntesis asimiladora, ó nutrición propiamente dicha, y el análisis desasimilador ó desnutrición, y representa, por consiguiente, el *exceso* de la asimilación sobre la desasimilación, ó el *exceso* de dos funciones biológicas inversas.

Según que este *exceso* sea positivo, nulo ó negativo, el cuerpo celular crecerá, se estacionará ó disminuirá de masa.

Sabemos (véase pág. 352) que el crecimiento celular es originado á expensas de materiales de reserva; y como éstos son precisamente sustancias que, por ser *excedentes* al gasto, las células los depositan en puntos determinados para ulteriores beneficios, y se ha demostrado además, con el experimento de la *Spirogyra*, que entre la asimilación que produce estos materiales y el crecimiento que los consume, media constantemente una alternancia como expresión del trabajo fisiológico, resulta, enlazando ideas, que este *exceso*, producido por una asimilación anterior y que originó el crecimiento de la *Spirogyra*, no es otro que el *exceso* diferencial de los fenómenos asimilativos ó nutritivos y desasimilativos ó desnutritivos.

El *crecimiento positivo* ó *crecimiento propiamente dicho*, se realiza principalmente en los meristemas y puntos vegetativos de las plantas (yema terminal del tallo...), y está seguido frecuentemente de multiplicación celular.

Sin embargo, puede suceder que no vaya acompañado dicho crecimiento de multiplicación celular. Así, un albumen de ricino que germina aisladamente, aumenta de volumen hasta el punto de doblar y triplicar su superficie, y sólo el crecimiento

ha tenido lugar por simple *extensión* de las células, quedando el número de ellas constante.

Finalmente, aun cuando el crecimiento positivo de todo cuerpo está de ordinario ligado á una asimilación de alimento inmediatamente anterior, puede resultar también el crecimiento, mejor dicho *acrecentamiento*, en este caso particular, de la simple confluencia de elementos vivos anteriormente libres, como acontece en los plasmodios (Mixomicetos) y cenobios (*Pediastrum*).

De todo lo cual se infiere que debemos distinguir en las células, según los casos: el *crecimiento normal*, aumento de volumen acompañado, como consecuencia ulterior, de multiplicación celular; el *crecimiento por simple extensión* (caso del ricino), y el *crecimiento por asociación*, verdadero *acrecentamiento* (1) (Mixomicetos).

El aumento de volumen de la célula, consecuencia de la incorporación sin cesar de partes nuevas en su propia materia, es decir, en su protoplasma, núcleos, plasmitos é hidropasmitos, lleva consigo el crecimiento superficial de la membrana celular, siendo la causa de éste, en primer término la absorción de sustancias, y en segundo, como más importantes, la turgescencia é imbibición de las células (véase pág. 336).

Dicho crecimiento, en los seres unicelulares, puede ser *superficial* y en *espesor* (véase págs. 38 y 338).

En los seres pluricelulares, como consecuencia del crecimiento normal, se notan dos crecimientos: *longitudinal* y *transversal*, pudiendo ser el primero *terminal* é *intercalar*.

El crecimiento *terminal*, ya se efectúe en los tallos ó en sus ramificaciones, es propio del meristemo de la yema terminal; mientras que el crecimiento *intercalar* responde á la proliferación ó multiplicación de las células que forman los *nudos* originarios de las hojas y *entrenudos* del tallo.

En la mayor parte de las plantas dicotiledóneas, el crecimiento en longitud es grande, y á veces rápido (chopo) por la suma de ambos crecimientos. En cambio, en las palmas, por sólo tener crecimiento terminal, resulta muy lento.

Se mide este crecimiento longitudinal por medio de ciertos

(1) El *crecimiento* procede ó es propio del interior; el *acrecentamiento* del exterior. No creemos puedan considerarse como sinónimas ambas palabras.

aparatos llamados *auxanómetros*, notablemente perfeccionados en la actualidad desde que fueron ideados por Julio Sachs. Todos ellos constan esencialmente de una polea, por cuya garganta pasa un hilo, uno de cuyos extremos se sujeta al vértice de la planta ó parte del vegetal cuyo crecimiento se trata de determinar, y el otro sostiene un peso que mantiene dicho hilo en tensión. Un estilete sostenido en el centro de esta polea, ó de otra cuyo movimiento se subordina á la primera, señala con su extremo libre las variaciones debidas al crecimiento de la planta, bien sobre una regla ó un limbo graduados (*auxanómetros indicadores*), ó bien marcando soluciones de continuidad, en forma de líneas, sobre un papel ennegrecido adaptado á un cilindro vertical que gira excéntricamente, y de un modo regular, gracias á un aparato de relojería (*auxanómetros registradores*).

El crecimiento *transversal* es debido á la proliferación celular de los dos meristemas, cortical (*felógeno*) y central (*cambium* ó zona generatriz), y ambos concurren con sus efectos, principalmente el segundo, al desarrollo de los tallos en diámetro ó en grueso.

### CAPITULO III

#### DESASIMILACIÓN—FUNCIONES DESASIMILADORAS OXIDANTES RESPIRACIÓN: NORMAL É INTRAMOLECULAR Ó ASFÍXICA

**Desasimilación.**—Con este nombre entendemos los procesos catabólicos, descendentes, oxidantes y analíticos, según los cuales las substancias elaboradas en las células por sus citoplasmas respectivos, y comenzando por los compuestos más complejos (albuminoides), retroceden el camino seguido en la asimilación, originando cuerpos cada vez más sencillos.

El fenómeno de la desasimilación, antagónico de la asimilación, consiste en una descomposición gradual de las materias protoplásmicas, que se efectúa principalmente con la ayuda del *oxígeno absorbido* por la planta ó *elaborado* por ella durante la asimilación clorofiliana.

La descomposición orgánica da lugar á la *energía* necesaria al cumplimiento de los trabajos interiores (síntesis...), y se traduce por la formación de compuestos de complejidad variable: los unos nitrogenados (amino-ácidos, alcaloides), y los otros ternarios (grasas, hidratos de carbono) ó binarios (anhidrido carbónico, vapor de agua).

Las mismas fases que han recorrido las células en la asimilación, resultan gradualmente invertidas en la desasimilación, y los productos originados unos son *reasimilados* y utilizados por las células en el momento preciso de su formación; otros *depositados en reserva* para ulteriores beneficios; y los más arrojados al exterior como productos de *excreción*.

Las sustancias albuminoideas, *independientemente de toda intervención de oxígeno libre*, pueden sufrir descomposiciones por simple desdoblamiento ó por hidratación; y así se comprende que en esta fase desasimilativa se originen productos de descomposición, tales como los amino-ácidos (esparraguina), comparables á los que resultan de la desnutrición en el seno de la célula animal, como la urea.

Los *cristaloides protéicos* que se encuentran en las células de algunas semillas (*Ricinus*, *Bertholletia*), como productos de reserva, no son otra cosa que sustancias albuminoideas formadas por simples deshidrataciones.

Las mismas *peptonas* (véase pág. 217) son el límite de la hidrólisis de los albuminoides, ya procedan éstos de cristaloides protéicos ó de sustancias albuminoideas vivas; pero como estas peptonas, al presente desconocidas, son transitorias y fugaces, sufren á medida que se forman una descomposición más profunda, originando con ello principios nitrogenados más sencillos, disueltos en el jugo celular y cristalizables (amino-ácidos), según queda consignado en capítulos anteriores.

No es de extrañar que siendo los albuminoides muy nitrogenados, han de serlo también los productos de su descomposición; y en efecto, tanto en las destrucciones fisiológicas, como en las patológicas, aparecen como productos regresivos de los albuminoides las bases de origen vegetal (alcaloides), de los cuales, así como de su proceso genésico semejante al de los amino-ácidos, se dijo lo bastante en la pág. 216.

Finalmente, las sustancias albuminoideas pueden continuar su descomposición, sin intervención del oxígeno, llegando por

fases desasimiladoras más sencillas á producir hidratos de carbono, cuerpos grasos, esencias y anhídrido carbónico.

Los fermentos desempeñan en la desasimilación orgánica sin oxidación, desdoblamientos ó hidrolisis que originan compuestos muy sencillos (1).

Así, por ejemplo, los glucósidos se hidrolizan y producen glucosa y otros cuerpos ácidos ó neutros:



Las glucosas á su vez, por simples desdoblamientos, originan principalmente entre otros productos, alcohol y ácido carbónico:



Estos alcoholes no se encuentran en las células vivas, porque desaparecen, apenas se forman, por efecto de rápidas oxidaciones (aldehídos) ó se combinan con los ácidos (ésteres).

Si independientemente de toda intervención de oxígeno libre, se pueden explicar las descomposiciones de los principios protoplásmicos, según hemos visto, bien puede asegurarse que en la fijación de oxígeno y la producción correlativa de anhídrido carbónico (respiración), descansa el fundamento principal del vasto proceso catabólico ó desasimilativo.

Este oxígeno no obra directamente como un oxidante, determinando sobre la materia contenida en la célula un fenómeno de combustión. Pfluger demostró que el fenómeno es más complejo, haciendo ver que cuando el protoplasma, por efecto de su actividad vital, sufre á veces, bajo la influencia de acciones insignificantes, desdoblamientos, descomposiciones, disociaciones, etc., entre las numerosas sustancias así originadas, muchas de ellas tienen para con el oxígeno mayor afinidad que el protoplasma mismo. De aquí que se formen compuestos cada vez más oxidados, que por grados sucesivos van á parar todos

(1) Los fermentos desempeñan un papel interesantísimo en la vida de las células; recordemos su misión en los retornos asimilativos, y la facilidad que tienen de dar forma asimilable á los materiales en reserva.



al término extremo más importante de la descomposición y oxidación, es decir, á la formación de anhídrido carbónico.

Fijémosnos además que, en los vegetales, buena parte de los productos desasimilativos, originados con ó sin intervención del oxígeno, pueden ser utilizados por el protoplasma en el momento de formarse, y también pueden ser almacenados transitoriamente en estado de reservas (azúcares, almidón); y como sabemos que estas reservas son consecuencia de excesos ó sobrantes al gasto nutritivo, dedúcese que, en el estado actual de la ciencia, el hombre no puede precisar á qué proceso bioquímico funcional sintético ó analítico corresponde cualquiera substancia que se encuentre en el interior de las células vegetales.

Todas las substancias que en orden ascendente hemos supuestos originadas en la asimilación, todas ellas pueden formarse en orden descendente en la desasimilación, del mismo modo que se produce el almidón por desdoblamiento de las substancias protéicas (véase el origen albuminoideo del almidón, pág. 371). Únicamente el anhídrido carbónico, producto extremo desasimilativo, es indirectamente arrojado al exterior, como un desecho ó una excreción, fuera de algunos casos en que nuevamente es reasimilado por la planta á medida que se produce, como sucede en las plantas verdes y en presencia de la luz (asimilación del carbono).

Según esto, la desasimilación se paraliza en cualquiera de sus fases descendentes, y los productos resultantes acumúlanse en las células, sea para ser más tarde reabsorbidos en el trabajo asimilador (reservas), bien para quedar indefinidamente inmovilizados sin beneficio alguno (oxalato de cal), ya, finalmente, para experimentar descomposiciones ulteriores, originando compuestos sencillísimos que, no sirviendo para la planta, son arrojados al exterior (esencias, resinas, gomo-resinas).

La desasimilación ó desnutrición vegetal va normalmente acompañada de otro carácter que no debe pasar desapercibido: nos referimos á la producción frecuente de una emisión insignificante de *energía calorífica*, particularmente apreciada en ciertas fases de la vida de las plantas (floración, germinación), y á veces también de luz.

Todo lo cual revela la gran *inestabilidad* de la materia viva bajo una aparente estabilidad y fijeza.

Conocidos á la ligera los caracteres generales que distinguen á la desasimilación, corresponde entrar de lleno en el estudio de todas las funciones desasimiladoras que observamos en las células, comenzando, como es natural, por la más importante y que *engendra la energía* necesaria á la permanencia de la vida, que se denomina respiración.

Es imprescindible advertir que para dicho estudio no basta el funcionamiento de una sola célula: es necesario, para observar bien los fenómenos desasimiladores, el concurso de varias, con lo cual, sumados los actos funcionales de todas ellas, aparecerán más visibles todos los fenómenos en cuestión.

#### RESPIRACIÓN

**Definición.**—Consiste substancialmente esta función en el cambio gaseoso que sin cesar se opera á través de las membranas celulares, conforme á las leyes de ósmosis y difusión, y que consiste en la fijación incesante de oxígeno libre por el protoplasma y la producción no menos continua de anhídrido carbónico que la planta abandona al medio ambiente, todas las veces que se encuentre ésta en la imposibilidad de asimilarlo.

**Generalidades.**— El oxígeno absorbido es constantemente consumido por el protoplasma, con los elementos del cual se combina, oxidándolos, y el ácido carbónico es constantemente producido en dicho protoplasma como uno de los términos, sin duda alguna, de desdoblamiento de las materias albuminoideas y ternarias que le constituyen.

De modo que á la continuidad de este consumo interno de oxígeno y producción interna de anhídrido carbónico, está ligada la continuidad de la absorción externa de oxígeno y el desprendimiento externo de anhídrido carbónico.

Más aún: si la respiración comporta normalmente una *pérdida de carbono*, en compensación *engendra la energía* necesaria á la permanencia de la vida: y si la función es suficientemente intensa, da lugar á desprendimientos de *calor* y á veces de *luz*.

Un efecto secundario de esta interesantísima función es la *incorporación á la célula de una parte del oxígeno absorbido*.

Este elemento, fijándose sobre la materia viva y bajo la acción protoplásmica sobre los compuestos inertes intracelulares (glucosas, cuerpos grasos, etc.), que derivan de su actividad, efectúa la descomposición de ellos.

De esta descomposición nacen, en primer lugar, el anhídrido carbónico, producto principal de la combustión; productos secundarios tales como el agua, principios azoados, etc., de la misma manera que la oxidación puramente química de los albuminoides (caseína...) por el ácido nítrico, origina á la vez anhídrido carbónico, urea, etc.

De todo lo cual resulta que la descomposición del protoplasma por oxidación, entra de lleno en el proceso general de la *descomposición orgánica*.

**Cociente respiratorio.**—Con este nombre indicamos la relación volumétrica de anhídrido carbónico desprendido y de oxígeno absorbido por las células vegetales en el acto de la respiración.

Se expresa por la ecuación siguiente:

$$\frac{CO_2}{O} = < 1.$$

Esta relación varía en una misma planta con la edad y el órgano considerado; varía también en el mismo órgano entre dos plantas distintas de la misma edad, y únicamente es constante é independiente de las condiciones externas (temperatura, luz, presión, etc.), considerando el mismo órgano de la misma planta y con la misma edad.

Dicho cociente es frecuentemente igual ó casi igual á la unidad, es decir, que el oxígeno desprendido en el ácido carbónico al fin de la reacción, representa exactamente el oxígeno libre absorbido al comienzo por el protoplasma. Sin embargo, con bastante frecuencia es más pequeño que la unidad, pudiendo descender á 0,5, y esto nos indica que una parte del oxígeno absorbido es definitivamente asimilada por el protoplasma.

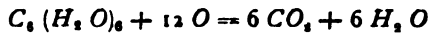
Por consiguiente, la constancia ó fijeza de esta relación respiratoria (entiéndase bien, constancia de relación, no de sus términos), estableciendo el encadenamiento entre la absorción del oxígeno y el desprendimiento del anhídrido carbónico, autoriza á considerar estos dos fenómenos como las dos partes

integrantes de una misma y sola función, que se ha designado con el nombre de *respiración*.

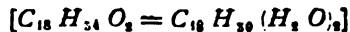
**Complejidad del fenómeno respiratorio.**—No se debe deducir de lo anteriormente dicho, pues se cometería un crasísimo error, que el oxígeno se fija directamente sobre una parte del carbono del protoplasma, para desprenderse inmediatamente en forma de anhídrido carbónico.

Antes, por el contrario, entre el principio y el fin del fenómeno respiratorio, es preciso admitir una larga serie de reacciones intermediarias todavía desconocidas, que dan por resultado una disociación progresiva de las moléculas protoplásmicas, es decir, una descomposición graduada de compuestos cada vez más sencillos, como amino-ácidos, ácidos orgánicos, fosfatos ácidos de potasio, hidratos de carbono, los cuales á su vez, y principalmente las glucosas, ácidos, etc., por una descomposición más profunda, resuelven en definitiva, su carbono en anhídrido carbónico, y su hidrógeno en agua.

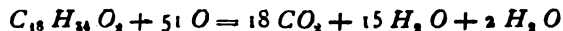
Así, por ejemplo, la glucosa no presta para la combustión más que el carbono que tiene, puesto que su hidrógeno está saturado de oxígeno, constituyendo agua; de modo que el único producto de combustión es entonces el anhídrido carbónico



Por el contrario, todo cuerpo graso ó neutro, ó un ácido graso, suministra para la combustión, no sólo el carbono que contiene, sino también la parte de hidrógeno que excede al que está combinado constituyendo agua. Sean, por ejemplo, 30 átomos de hidrógeno por molécula de ácido oléico



y dará como productos de combustión, á la vez, anhídrido carbónico y agua



Según esto, el agua de combustión del azúcar ( $6 H_2 O$ ), del mismo modo que las dos últimas moléculas ( $2 H_2 O$ ) aisladas del ácido oléico, según la ecuación precedente, no exigen para constituirse la intervención del oxígeno absorbido.

El anhídrido carbónico aparece entonces en la respiración como *uno de los términos*, el más importante en verdad y también el más sencillo, de *toda la serie de productos de combustión*.

Pero este gas carbónico *no es sólo* el producto de combustión, puesto que la totalidad del oxígeno absorbido no se halla representando el volumen de anhídrido carbónico exhalado.

En efecto: si el fenómeno respiratorio se redujera á una combustión del carbono, por ejemplo, á una combustión de hidratos de carbono, el volumen del anhídrido carbónico desprendido sería igual al volumen de oxígeno absorbido en el mismo tiempo, puesto que el primero de estos gases encierra su propio volumen de oxígeno. Pero como el volumen de anhídrido carbónico es constantemente inferior al del oxígeno, es forzoso suponer que una parte de este gas es empleado á efectuar otras oxidaciones distintas de la del carbono, y, asimilado por el protoplasma, es probable que intervenga en la combustión del exceso de hidrógeno de los cuerpos grasos, según hemos dicho anteriormente.

En la respiración conviene distinguir dos producciones de energía totalmente distintas: una denominada *respiración normal*, que se efectúa en presencia del oxígeno libre de la atmósfera, y que acaba de ser definida en todo lo anteriormente dicho; y la *respiración intramolecular*, llamada también *respiración por asfixia*, que se efectúa en ausencia del oxígeno libre.

**Respiración normal.**—Consiste, según hemos dicho, en la fijación de oxígeno libre y en las descomposiciones orgánicas que resultan de aquella absorción en el seno del protoplasma, dando lugar especialmente á la producción de anhídrido carbónico.

**a. Vida activa.**—Que la acción del oxígeno es imprescindible para la vida celular, se demuestra sirviéndonos de la *cámara húmeda* construída según las indicaciones de Ranvier.

Consiste en un porta-objetos en cuya parte central se ha practicado un surco ó ranura que circunscribe á un círculo, cuyo espesor mide una décima de milímetro menos que el borde externo de dicho surco. Se coloca el objeto que tratamos de observar, con una gota de suero, sobre el círculo central, y se recubre de un cubre-objetos que se fija al porta-objetos con parafina.

Puede realizarse también la experiencia por medio de una lámina de vidrio ó porta-objetos que presenta en su centro una ligera excavación, suficientemente amplia. Se deposita en el fondo de la oquedad una gota de agua, y sobre un cubre-objetos apropiado, las células que deseamos observar; invertido éste sobre la oquedad ó excavación del porta objetos, y fijo con parafina, se consigue de este modo una cámara cerrada, conteniendo cierta cantidad de aire.

Ahora bien: los elementos celulares que más convienen para apreciar la acción que sobre ellos produce el oxígeno del aire, son principalmente células con *pestañas vibrátiles* y *amibas*.

Preparadas estas células en las condiciones anteriormente expresadas, advertiremos que los movimientos de las pestañas vibrátiles cesan en la cámara húmeda á las veinticuatro horas de comenzar la experiencia; y si después se levanta un poco el cubre objetos para que penetre el aire, los movimientos vuelven á manifestarse con la misma intensidad que al comenzar la experimentación. Del mismo modo se paralizan los movimientos amiboideos cuando el oxígeno ha sido consumido de la cámara húmeda, y son activados si el aire se renueva.

Examinando más de cerca el fenómeno, parece vislumbrarse que el oxígeno se fija ó almacena, por decirlo así, en cantidad mayor ó menor en los elementos celulares, antes de ser consumido. Así acontece que aun privadas de oxígeno las amibas ó células vibrátiles, siguen moviéndose hasta que la provisión de este elemento por ellas conservado es gastada por completo: por eso es suficiente el más ligero contacto de este gas, para que los movimientos vuelvan á manifestarse en las células respectivas por largo tiempo.

Además, por débil que sea la tensión del oxígeno, es lo bastante para sostener la vida del protoplasma, mientras que si se eleva la presión de dicho oxígeno á tres atmósferas, ó el gas referido á quince atmósferas, es alterado y muerto el protoplasma, ó por lo menos suspendidas sus manifestaciones vitales.

El oxígeno absorbido en las células *aerobias* contribuye á la formación de agua, anhídrido carbónico, etc., y gracias á esta función se engendra la energía necesaria á la permanencia de la vida sobre el globo.

Se exceptúan de esta regla los vegetales *anaerobios*, que

viven en la ausencia del oxígeno libre, como algunos microbios (*Bacillus amylobacter*) y hongos (*Saccharomyces*).

Muchísimos más experimentos pudieran indicarse para evidenciar esta interesantísima función; pero importa manifestar que para hacer más tangible el fenómeno, se precisa el concurso de varias células que, aunando sus efectos, revelen más la observación: por esta razón conviene practicar las experiencias en un sér pluricelular.

Para demostrar el *desprendimiento del anhídrido carbónico* á consecuencia de la respiración, siempre que las plantas en

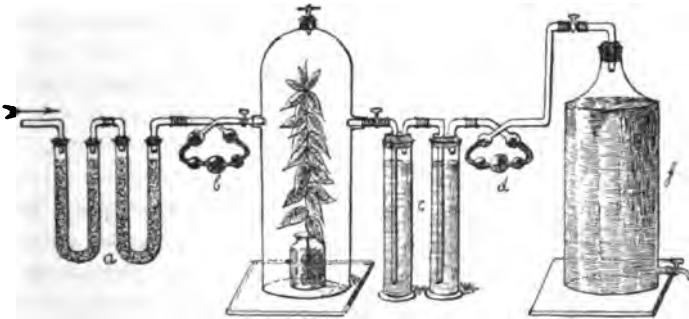


Fig. 207.—Aparato de renovación continua de aire para determinar cuantitativamente el anhídrido carbónico procedente de la respiración de la planta colocada en la campana.—*a*, tubos en U con piedra pómez, impregnada de una solución de potasa; *b*, tubo de bolas con una disolución de potasa; probetas, *c*, y tubo de bolas, *d*, con agua de barita; *f*, frasco aspirador.

estudio encierren clorofila, es evidentemente necesario colocarlas en la obscuridad, si queremos determinar exactamente la totalidad del anhídrido carbónico desprendido, pues en presencia de la luz, dicho gas, reasimilado por los cloroplastos á medida que se origina en el protoplasma, enmascara por completo la respiración.

Para que la planta también pueda disponer de un volumen más considerable de aire y dure la experiencia más tiempo, se emplea el aparato llamado de *renovación continua* (fig. 207), en el que el recipiente aspirador *f* provoca el vacío por la salida continua del agua contenida, siendo al mismo tiempo ocupado por el aire del aparato, y consecuentemente del exterior.

El aire que penetra por los tubos en *u*, gracias á la potasa en ellos contenida, y la disuelta en el tubo de bolas *b*, se desembaraza del anhídrido carbónico y pasa al recipiente ó campana de cristal donde se hallan encerradas las plantas; y el anhídrido carbónico procedente de la respiración de la planta, es fijado después por el agua de barita que se encuentra en las probetas *c* y tubo de bolas *d*.

De este modo obtendremos un precipitado cada vez más abundante de carbonato de bario, que después de haberlo filtrado y desecado, se pesa; calcinado después al rojo blanco para disociarle, la disminución de peso corresponde al de anhídrido carbónico exhalado en la respiración por la planta durante la experiencia.

Como la respiración de las células verdes se enmascara durante el día con la asimilación clorofilica, gracias al sencillo experimento de Claudio Bernard dado á conocer en la pág. 361 (véase fig. 206), se ha podido separar ambas funciones (1), deduciendo, como consecuencia, que la respiración vegetal tiene lugar, tanto de día como de noche, en plantas verdes y en las no verdes, y que los dos cambios gaseosos tan opuestos de la asimilación clorofilica y de la respiración, se producen á la vez durante el día.

La *intensidad* de la respiración varía, no sólo con la naturaleza de la planta, su edad y el órgano considerado, sino también y muy principalmente con las condiciones del medio ambiente, como son la temperatura, luz, estado higrométrico, presión, etc.

La respiración es el fenómeno fisiológico que comienza á las más *bajas temperaturas*, y prosigue aumentando de intensidad hasta las temperaturas más elevadas; sin embargo, no hay proporcionalidad. La intensidad crece lentamente cuando la temperatura se eleva hasta un límite que varía; después aumenta rápidamente. El *óptimum de temperatura* respiratorio corresponde próximamente con el *máximum*, es decir, cercano á la muerte del vegetal.

(1) Muchísimo tiempo se había creído que las plantas verdes respiraban de distinta manera de día que de noche, confundiendo la asimilación clorofilica con la respiración, y denominando *respiración diurna* á la asimilación antedicha.



Si se toman como abscisas las temperaturas sucesivas á partir de 0°; como ordenadas las intensidades respiratorias, y construimos la gráfica, uniendo los puntos así determinados, se obtiene una rama de parábola cuyo eje es perpendicular al de las abscisas en el caso de que las coordenadas cartesianas á que se ha referido sean rectangulares.

Mas como á consecuencia de la determinación ó fijación de los puntos de la gráfica, deducimos el hecho de que las intensidades respiratorias varían proporcionalmente á los cuadrados de las temperaturas, resulta que, si designamos por  $Q$  dicha intensidad, medida por el anhídrido carbónico desprendido, y por  $t$  la temperatura, ambas cantidades se hallan enlazadas, representando  $a$  y  $b$  dos constantes propias á la planta considerada, por la relación

$$Q = a + bt^2$$

ecuación que representa asimismo una parábola en las coordenadas ya indicadas, y en la que se ve la confirmación de los resultados obtenidos por el método gráfico.

La radiación *luminosa* total disminuye la intensidad respiratoria. La acción es grande en el rojo y el amarillo, débil en el azul y violado, nula en el verde.

La intensidad de la respiración crece también con el *estado higrométrico* del aire.

Si la *presión* del oxígeno varía en el aire, la intensidad de la respiración varía también.

Tres presiones críticas hemos de considerar. Un *máximum* y un *mínimum*, sobre y debajo, respectivamente, de las cuales la respiración cesa; y entre las dos una presión *óptima* en la que la respiración se ejerce con la mayor facilidad. Dichas presiones varían de un vegetal á otro.

Si comparamos plantas distintas, ú órganos diversos de una misma planta, ó los análogos de aquéllas, los cocientes respiratorios respectivos varían.

Los diversos órganos de cada planta consumen distintas proporciones de oxígeno. En general la flor absorbe más oxígeno que la raíz ó que la hoja; ésta más que los rizomas; y dentro de la flor, los estambres hacen mayor consumo que las otras partes.

La cantidad de oxígeno absorbido es tanto mayor, cuanto más activo es el crecimiento. Un embrión al nacer de la semilla, ó todo vástago al brotar de la yema, consumen más oxígeno que posteriormente, ó cuando sus desarrollos son más avanzados.

Finalmente, el cociente respiratorio es inferior á la unidad durante el *proceso germinativo*, llegando á veces á ser igual á 0,5; es decir, que en este caso es doble el volumen de oxígeno absorbido, respecto al anhídrido carbónico desprendido. De un modo general, puede asegurarse que la relación respiratoria llega al *minimum* durante el período *germinativo*.

En cambio, en la fase media del desarrollo de las plantas anuales, ó sea en el *momento de la floración*, el cociente respiratorio adquiere su valor *máximo*.

6. **Vida latente.**— Los órganos con vida latente tienen respiración normal lenta, y los hidratos de carbono ó cuerpos grasos que encierran, desempeñan interesantísimo papel en la combustión respiratoria.

Se sabe que en las cuevas, bodegas ó sótanos donde la temperatura no es superior á cero grados, los tubérculos de las patatas adquieren un sabor tanto más azucarado, cuanto más prolongada es su estancia en dicho medio. No hay para qué decir que la glucosa resultante es consecuencia de la acción diastásica y lenta de la *amilasa* sobre el almidón.

Si exponemos en una estufa, y á la temperatura próximamente de 20°, tubérculos de la misma planta, sólo se manifiestan cantidades insignificantes de principios azucarados, aun suponiendo lo más favorables las condiciones de su producción. Esto nos indica que el crecimiento de intensidad de la respiración, es correlativa de un gran consumo de dicho hidrato de carbono, inversamente al fenómeno anterior, en que, por su baja temperatura, la respiración quedaba casi suspendida.

De la misma manera, hojas normales ó amarillas destacadas de las plantas respiran con más actividad, sumergidas por la base en un líquido azucarado, que cuando sólo tienen por elemento agua pura, sin que por ello la relación respiratoria haya cambiado.

Más tarde, al estudiar la calorificación, indicaremos, con

otros ejemplos, la gran actividad respiratoria que manifiestan los hidratos de carbono como combustibles orgánicos.

**Duración de la respiración normal en aire confinado.**—La respiración normal no sólo es la más general de las funciones externas, sino que es la más necesaria.

En efeto: si colocamos una célula vegetal ó un sér pluricelular en vasos cerrados, la respiración de dichos seres se verifica con normalidad, siempre que dispongan de la cantidad suficiente de oxígeno. Esta cantidad de oxígeno (21 por 100) puede descender próximamente al 3 por 100, sin que se note cambio alguno en la respiración normal, ni tampoco variación sensible en la constancia del cociente respiratorio.

**Respiración intramolecular ó vida asfíxica.**—Pero desde el momento en que la cantidad de oxígeno ha descendido al 3 por 100, ó la proporción de este gas es menor, la relación respiratoria, hasta entonces constante, empieza á aumentar, y las células, por lo tanto, continúan desprendiendo anhídrido carbónico con más intensidad que anteriormente.

Privada la planta de aire, ó en un medio atmosférico cuya cantidad de oxígeno no pase del 2 ó 3 por 100; colocada en el vacío, en un gas inerte como el hidrógeno ó el nitrógeno, empieza á manifestarse la *vida asfíxica*. Durante esta fase crítica, reacciona la planta y crea la energía necesaria para resistir al medio nocivo en que se encuentra, observándose mientras tanto que el crecimiento de las células cesa; se paralizan los movimientos protoplásmicos, y debilitándose poco á poco, después de una permanencia más ó menos larga, según su naturaleza y la composición de los jugos celulares, sucumbe al fin y muere.

La producción de anhídrido carbónico que tiene lugar, según hemos dicho antes, en esta fase asfíxica, no tiene el mismo origen que en la respiración normal, y ha sido denominada por algunos botánicos *respiración intramolecular*, en oposición á la respiración normal, en que la producción de dicho gas está ligada á una fijación previa de oxígeno libre.

Dicha denominación puede aceptarse, si por respiración entendemos, de un modo general, el medio empleado por la planta para crear la energía necesaria á su actividad; en cuyo caso la palabra *intramolecular* indicaría sencillamente que el mantantial de esta energía para originar el anhídrido carbónico

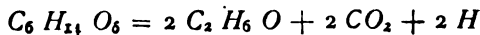
desprendido, hay que buscarlo en descomposiciones orgánicas intraprotoplásmicas distintas á las oxidaciones de la respiración normal.

**Asfixia de una planta provista de hidratos de carbono: fermentación alcohólica.**—Las descomposiciones que se producen en el seno del protoplasma durante el período asfíxico, no se traducen sólo por una emisión de anhídrido carbónico.

Siempre que el jugo celular encierra azúcares (glucosas, sacarosas, maltosas) ó reservas capaces de originarlas (almidón, en presencia de la amilasa), la alteración de estos hidratos de carbono va acompañada además de una producción de *alcohol* ( $C_6 H_{12} O_6 = 2 C_2 H_6 O + 2 CO_2$ ) que se acumula en el jugo de la planta, al mismo tiempo que el anhídrido carbónico se desprende. En este caso, la acción coagulante del alcohol sobre el protoplasma acelera la muerte de la planta.

Esta producción simultánea de anhídrido carbónico y de alcohol en ausencia del oxígeno del aire y en presencia de principios azucarados, ha sido demostrada en casi todas las plantas y en fragmentos de ellas. Bastaría para ello, con las condiciones indicadas, observar lo que sucede en las raíces del manzano conservadas dentro de una capa impermeable, y abandonar en el vacío frutos azucarados (pera), tubérculos (patata), bulbos (Jacinto, Tulipán) y raíces (remolacha), etc. Sin embargo, donde la formación alcohólica se halla acentuada llegando al máximo, es en las Levaduras (*Saccharomyces*), cuyo fenómeno, origen de todos los alcoholes industriales, recibe el nombre de *fermentación* alcohólica.

Otras muchas sustancias ternarias sirven de materia prima para la elaboración de alcoholes. Los frutos depositados más ó menos tiempo en aire confinado, se ablandan y descomponen, originando durante su alteración, no sólo alcohol y anhídrido carbónico, sino también ácido acético, nitrógeno y á veces hidrógeno. La manita de ciertos hongos (*Agaricus*) se desdobra asimismo en alcohol, anhídrido carbónico é hidrógeno, según la ecuación siguiente:



El glucógeno, previamente transformado en glucosa por fermentos especiales, es también productor de alcohol, como su-

céde en los moluscos bivalvos asfixiados (almejas) y en los hongos (*Boletus*, *Saccharomyces*).

Y en una palabra, toda célula vegetal colocada en vida anaerobia, origina el desdoblamiento de las glucosas en alcohol y anhídrido carbónico.

Dicho alcohol, formado de tan diversos modos, se aísla por destilación, y basta el olor del líquido destilado para reconocerlo suficientemente. Puede caracterizarse también por los vapores etéreos que produce en presencia del ácido sulfúrico; y por último, se delata la existencia del alcohol con la mezcla oxidante de bicromato de potasio y ácido sulfúrico, que toma una coloración verde, como consecuencia de la reducción del ácido crómico en sesquióxido de cromo.

Más aún: el mismo Van Tieghem reconoce la importancia que en la vida vegetal parecen tener las deshidrataciones, y desdoblamientos con ó sin hidrolisis de la molécula protoplásmica, para demostración de lo cual expone algunas consideraciones que nosotros transcribimos de su obra (edición primera) respecto al empleo del oxígeno absorbido (1) y el origen del anhídrido carbónico desprendido (2) por las plantas.

**Empleo del oxígeno absorbido.**—El oxígeno que, en virtud de las leyes físicas de ósmosis y difusión, penetra en la planta, sirve para oxidar los diversos principios constitutivos del protoplasma, regulándose el equilibrio osmótico de dicho gas con el gasto del vegetal.

En algunas plantas es tan intensa la facultad oxidante, que las materias fuertemente oxigenadas obtenidas, son utilizadas industrialmente por el gran consumo que de ellas se hace. Así, por ejemplo, de todos es conocido que el *Micrococcus aceti* oxida el alcohol, originando vinagre; que el *Micrococcus oblongus* produce también ácido acético cuando se nutre de alcohol, y ácido cimoglucónico si se alimenta de glucosa. Y por último, que el *Micrococcus nitrosus* y *M. nitricus* absorben con avidéz el oxígeno confinado de las tierras arables y producen respectivamente el ácido nitroso y nítrico.

Mas si en estos diversos ejemplos patentizase la materia sobre la cual se manifiesta el poder oxidante de la planta, en la mayoría de los casos, es decir, en la generalidad de las plantas, no se conoce ó des-

(1) Van Tieghem, *Traité de Botanique*: París, 1884, pág. 162.

(2) Van Tieghem, *Traité de Botanique*: París, 1884, pág. 189.

cubre con claridad este factor de la reacción, y únicamente se sabe que el oxígeno ha sido absorbido.

Indirectamente, sin embargo, puede arrojarse alguna luz, observando y estudiando las consecuencias químicas de una asfixia prolongada.

Es cosa sabida que toda planta ó fragmento de planta en estado de vida latente, basta que encierre glucosa en sus células, ó substancia capaz de convertirse en glucosa, para que, privada de oxígeno ó en condiciones asfíxicas, destrúyase esta glucosa y se produzca alcohol.

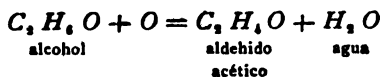
Si los seres vegetales son de aquéllos que pueden vivir y crecer en estas condiciones anaerobias por más ó menos tiempo (*Saccharomyces*, *Mucor*), y están rodeados de un medio alimenticio como la glucosa, al poco tiempo se destruye ésta, formando por desdoblamiento considerables proporciones de alcohol y anhídrido carbónico. No hay para qué repetir que el hombre fundamenta su industria alcohólica (vino, cerveza, sidra, etc.) con la ayuda de estos seres vegetales, colocados momentáneamente en semejantes condiciones de asfixia.

Ahora bien: fundándonos en la ley de continuidad que parece regular todos los hechos, y partiendo de las anteriores conclusiones observadas, es muy probable que la glucosa contenida en las células vegetales y en las condiciones normales de vida aerobia, sea progresivamente destruída mediante los fermentos en ellas existentes, del mismo modo que en vida anaerobia ó asfíxica, y se originen, por lo tanto, considerables cantidades de alcohol. Pero como el alcohol es nocivo para el protoplasma por su acción coagulante (lo mismo que es tóxico el aldehído fórmico), y directamente en ningún caso ha podido demostrarse su existencia en las condiciones normales de vitalidad de las plantas, dicho argumento no invalida la hipótesis, pues es casi seguro que el alcohol, á medida que se produzca, sea oxidado y transformado.

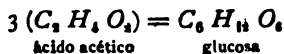
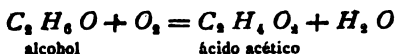
Tal será el empleo principal por lo menos del oxígeno absorbido, si ha de evitar la intoxicación que el alcohol produce sobre las plantas.

Y ésta es la razón de que, faltando el oxígeno, el alcohol formado en las células vegetales se acumula en vida asfíxica y produce poco á poco la muerte de la planta.

Ahora bien: ¿qué producto surge de la oxidación continua del alcohol? La hipótesis más probable parece ser la formación de aldehído acético ó etílico, como primer grado de oxidación; ácido acético, por oxidación más avanzada, y finalmente, condensado éste, glucosa, según las ecuaciones siguientes:



Y por una oxidación más intensa



De modo que la respiración normal ó vida aerobia sirve para reconstituir la glucosa alterada y transformada en alcohol transitorio por la vida anaerobia ó asfíxica de las células vegetales, ó en otros términos, que la célula vegetal es un fermento facultativo como la levadura.

**Origen del anhídrido carbónico desprendido.**—Dicho origen es una consecuencia de lo anterior. En efecto: en una planta *aerobia* ó *aerofila* que vive momentáneamente en ausencia de oxígeno, la producción del anhídrido carbónico es fácil de determinar.

Si la planta encierra glucosa, ésta se descompone, en presencia del fermento, en alcohol, anhídrido carbónico y algunos productos accesorios á veces, como el ácido succínico y la glicerina. Cuando la planta vive al contacto del aire y absorbe oxígeno, la glucosa es también destruída, y el anhídrido carbónico sigue siendo producido.

En vista de esto, ¿por qué no atribuir la aparición del anhídrido carbónico á la destrucción de la glucosa? Parece lo más probable y conforme á la ley de continuidad.

La principal diferencia entre este segundo modo de vida y el primero, estriba en que el alcohol formado en las dos circunstancias, se acumulará en las células vegetales en vida anaerobia, y desaparecerá por oxidación en vida aerobia, á medida que se produce.

En todos los casos, el anhídrido carbónico tendrá su origen en la descomposición de azúcares ó principios análogos intracelulares. El oxígeno actuará sobre los cuerpos resultantes de las descomposiciones antedichas, y principalmente sobre el alcohol. De suerte que en las condiciones ordinarias ó respiración normal, se establecerá una relación indirecta entre la formación del anhídrido carbónico y el consumo de oxígeno.

**Idea general del fenómeno respiratorio.**—En resumen, la causa primera del fenómeno de la respiración, gracias á la cual las células vegetales crean la energía necesaria á la permanencia de su vida, reside *en el protoplasma mismo*, y no en el oxígeno absorbido, puesto que aquella producción de energía también tiene lugar en ausencia de dicho gas.

Además, el oxígeno libre no debe conceptuarse simplemente como agente directo que obra sobre los azúcares y otros principios oxidables del jugo celular para engendrar el anhídrido carbónico, sino muy principalmente como el factor oxidante de la molécula protoplásmica, en la cual aquéllos y otros principios son elaborados por asimilación á medida que sus componentes penetran en la célula.

En razón misma de la constitución tan compleja del protoplasma y de su estado particular de agregación, la materia viva parece ser el asiento de afinidades energéticas por el oxígeno, y la vida se manifiesta mientras estas afinidades son satisfechas.

El fenómeno respiratorio, en suma, puede celebrarse de dos maneras:

1.<sup>a</sup> En el estado normal, el oxígeno atmosférico neutraliza estas afinidades con tal que nuevas moléculas protoplásmicas procedan del trabajo asimilador.

2.<sup>a</sup> En el estado de asfixia, por el contrario, las reacciones recíprocas de ciertos cuerpos oxigenados que encierra la molécula viva, son las que satisfacen estas afinidades; no siendo imposible que estas transformaciones íntimas, independientes del oxígeno libre, ó asfíxicas, se produzcan también en el proceso de la respiración normal.

En uno y otro caso, aun cuando más activamente en la respiración normal, la *energía vital* es creada, así como todo el conjunto de *productos de descomposición*, entre los cuales, y en primer término, tenemos el anhídrido carbónico, como producto de excreción, á menos que sea reabsorbido por la célula vegetal, de hallarse en ella reunidas las condiciones exigidas para la asimilación clorofílica.

En cuanto al calor como energía excedente, es engendrado en el curso de ambas respiraciones; sin embargo, su emisión disminuye rápidamente en la respiración intramolecular.



## CAPITULO IV

**FUNCIONES DESASIMILADORAS DESHIDRATANTES**  
**TRANSPIRACIÓN, CLOROVAPORIZACIÓN, SUDACIÓN, CLOROSUDACIÓN**  
**SECRECIONES, EXCRECIONES—SUBSTANCIAS**  
**PLÁSTICAS Y ELIMINADAS**

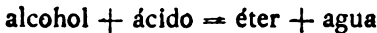
Demostrado el desprendimiento de oxígeno y anhídrido carbónico por las células vegetales, corresponde estudiar las funciones cuya misión principal es la eliminación de agua.

Muchos son los orígenes bioquímicos del vapor acuoso desprendido por las plantas. Entre ellos, indicaremos como más importantes la *eterificación*, la *condensación* de los aldehídos, la *deshidratación* de las glucosas, y la *oxidación* de las glucosas, grasas, manitas y alcoholes primarios (metílico, etílico, etc.)

1.<sup>a</sup> Ya dijimos, al tratar de la formación de los éteres, y de los medios empleados para que la eterificación de las plantas fuese total (véase pág. 235), que dicho proceso bioquímico es debido á la combinación de los alcoholes y los ácidos monoatómicos volátiles con separación de agua.

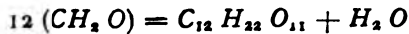
Las células vegetales, según la agrupación ó tejido que constituyen y el fin funcional á que están destinadas en la división del trabajo fisiológico, originan con mayor ó menor intensidad éteres que, en razón á su volatilidad; producen la fragancia y el gran número de perfumes de las plantas.

Conocemos la formación transitoria de los alcoholes en el seno de la masa protoplásmica; y como de la oxidación de los alcoholes se producen los aldehídos, y de la oxidación de los aldehídos los ácidos, se comprende fácilmente la combinación de unos y otros en las microscópicas retortas celulares, dando lugar á la formación de éteres con desprendimiento de agua; es decir; que

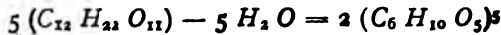
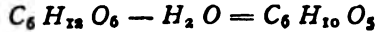


Se favorece la eterificación con la eliminación de agua, y á este fin responde el fenómeno que después estudiaremos, con la denominación de *clorovaporización*.

2.<sup>a</sup> La *condensación* del aldehído ó monosa

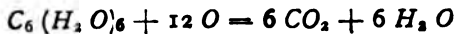


3.<sup>a</sup> La *deshidratación* de las glucosas y sacarosas es otro gran manantial de vapor de agua en las células vegetales

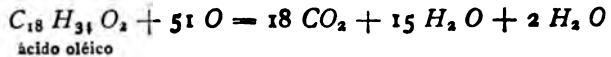


4.<sup>a</sup> Finalmente, puede producirse vapor de agua por *oxidación*:

De las glucosas



De las *grasas* ó *ácidos grasos*



De las *manitas*



De los alcoholes, bien metílico



ó etílico



y así sucesivamente.

Mucha parte del agua así producida ó absorbida por ósmosis, es eliminada y arrojada al exterior en estado de vapor ó de líquido, y las funciones llamadas á desempeñar estos fines son la *transpiración* y *clorovaporización*, desprendiendo vapor acuoso, y la *sudación* y *clorosudación*, eliminando agua en estado líquido.

**Advertencia.**—Antes de comenzar el ligero examen de los procesos fisiológicos precitados, debemos manifestar que aun cuando dichos fenómenos no se exteriorizan en las células aisladas por lo reducido de sus masas, y en cambio se patentizan con notoria claridad en los seres pluricelulares, es lo cierto que, como el funcionamiento de éstos dimana de aquéllas, por ser la resultante fisiológica del trabajo funcional de todas y cada una de las células confederadas ó asociadas que á ellos integran, no debe extrañar, por tanto, penetremos en este punto en el campo fisiológico de los seres superiores, tratando como se trata de completar el cuadro funcional de la célula, sea aislada ó congregada.

**Transpiración.**—Es el fenómeno por el cual las células vegetales incoloras exhalan vapor acuoso por todas sus membranas permeables, siempre que estén expuestas en contacto directo con la atmósfera.

La intensidad de esta función está estrechamente ligada á la vida del protoplasma, y he aquí la razón del por qué no se debe comparar este fenómeno con el de la evaporación del agua.

Para demostrar el desprendimiento de vapor acuoso por la célula, es preciso el concurso de varios elementos celulares congregados ó asociados; y como las hojas aparecen en las plantas como los órganos especiales para desempeñar tanto ésta, como las otras funciones indicadas, á ellas nos referiremos en todo lo que á continuación se expresa.

En todos los casos, si la planta ó parte de planta sometida á la observación fuera verde, conviene, para evitar complicaciones que resultarían anejas á la absorción de radiaciones luminosas por los cloroplastos, realizar la experiencia en la obscuridad, ó paralizar, por el procedimiento de Claudio Bernard, la acción ó función clorofílica, con anestésicos (véase pág. 206).

Por esto, para hacer ostensible el resultado que produce la radiación luminosa en las células no verdes, con respecto á la transpiración, y distinguirla ó separarla del efecto que el mismo agente ejerce sobre los cloroplastos, dando lugar á la función que, con el nombre de clorovaporización, será estudiada más adelante, conviene operar siempre, bien sobre plantas anteriormente decoloradas en la obscuridad, ó naturalmente despro-

vistas de materia verde, como acontece en muchas fanerógamas (*Neottia*, *Cuscuta*, *Orobanche*); ora sobre hojas ó porciones de hojas sin clorofila, como ocurre en algunas variedades de plantas (*Aspidistra*, *Negundo*); ya sobre flores que ostenten coloraciones variadas no verdes, ó, finalmente, sobre vegetales constantemente aclorofilicos, como sucede con los hongos (*Boletus*, *Polyporus*, *Psalliota*, etc.)

La transpiración se puede demostrar por las tres experiencias siguientes que pueden servir para medir su intensidad:

1.<sup>a</sup> Se coloca una planta con su tiesto, bajo una campana de cristal. El tiesto se ha barnizado, y cubierto la tierra de un disco de plomo con el fin de impedir, contener ó encerrar el vapor de agua emitido por la humedad de la tierra. En estas condiciones, el vapor acuoso desprendido por el vegetal se condensa en las paredes internas de la campana, que por fin en forma de gotas se escurre hacia el fondo del recipiente.

Se puede introducir el tallo hojoso en un globo de vidrio, en cuyo caso el agua de transpiración se concentraría también y del mismo modo en el fondo de éste.

2.<sup>a</sup> El referido tiesto, en las condiciones indicadas, se coloca al aire libre sobre el platillo de una balanza. Pesado á intervalos de tiempo determinado según las horas del día, la pérdida experimentada mide exactamente el agua transpirada por el vegetal. Con este objeto, se puede usar la balanza registradora de Wiesner ó de Richard, que, del mismo modo que los barómetros registradores, dibujan en papeles *ad hoc* las alternativas que se suceden durante el día y semana.

3.<sup>a</sup> Si tratamos de estudiar la transpiración de un órgano sirviéndonos como caso particular de un brote foliar tierno del castaño de Indias, se le corta por su base y se ajusta con un tapón en una de las ramas de un tubo doblemente encorvado y relleno de agua ligeramente coloreada con fuchsina ó con azul de metileno para hacer más perceptible el fenómeno.

El agua transpirada es reemplazada por la contenida en la otra rama del tubo, que en el grabado adjunto (fig. 208) se halla acodada en ángulo recto. Comparando el extremo de la columna líquida, antes y después de la experiencia, determinaremos la cantidad de agua transpirada por la planta.

La transpiración es tanto más activa, cuanto mayor es la temperatura que puede resistir el vegetal.

La radiación solar y directa acelera la transpiración más que la difusa; sin embargo, la acción no es inmediata. Así acontece que si la planta pasa de la obscuridad á la luz, bruscamente, el fenómeno de la transpiración se estaciona cierto



Fig. 208.— Demostración de la transpiración.—El tubo encorvado, por estar lleno de agua ligeramente coloreada con fuchina ó con azul de metileno, permite determinar perfectamente la cantidad de agua transpirada; y si preciso fuera añadir más líquido, se vierte con un embudito por el tubo de cristal *a*, que atraviesa el tapón de cautchouc; *b*, extremidad de la columna líquida al comenzar la experiencia; *b'*, extremidad de la columna líquida después de exponer la planta algunos minutos al sol; *bb'*, cantidad de agua transpirada.

tiempo hasta acomodarse á las condiciones nuevas.

En el aire seco, la planta transpira más que en el húmedo. La agitación del aire es también un factor favorable, si bien la transpiración se realiza en el aire saturado. Este carácter separa radicalmente á esta función de la evaporación.

En efecto: la transpiración es menor que la evaporación, pues medida aquélla con exactitud, se observa que en las mismas condiciones de temperatura, superficie, etc., la evaporación es mucho más intensa; la evaporación, además, cesa en toda atmósfera húmeda, lo que no ocurre con la transpiración siempre que la planta se halle sometida á la radiación; y por último, la radiación luminosa, independiente de la temperatura, no tiene influencia alguna sobre la evaporación.

En superficie igual, la cantidad de agua transpirada en un tiempo dado, y por un órgano de la misma edad, varía con la naturaleza de la planta, siendo muy enérgica en las gramíneas y en todos los vegetales herbáceos en general.

El desprendimiento de vapor acuoso por transpiración en los diversos órganos, no tiene la misma intensidad. Es mayor en las hojas y flores que en el tallo y ramos; en el límite de crecimiento que durante el desarrollo de los mismos, ó también cuando la superficie cutinizada de la membrana empieza á ser menos permeable.

La función de la transpiración vegetal, aun cuando se manifiesta por todas las membranas permeables de las células



Fig. 209.—Experiencia de Garreau que demuestra cómo una hoja transpira más por su cara inferior que la superior. Las dos campanas invertidas, S é I, están aplicadas sobre las dos caras de una hoja; c y c', cápsulas con cloruro de calcio destinadas para absorber el vapor de agua desprendido por cada una de las caras de la hoja.

vegetales, como fenómeno que pertenece de lleno al protoplasma incoloro, se realiza principalmente en las hojas aéreas por los estomas aeríferos (1); y como éstos abundan en la cara inferior de las hojas, he aquí el por qué la transpiración es más activa en esta cara que en la superior, como lo demuestra la experiencia de Garreau, revelada en el grabado adjunto (fig. 209).

En las plantas acuáticas cuyas hojas son flotantes, dicha función, en consonancia

con el número de estomas, es más intensa en la cara superior.

**Clorovaporización.**—Esta función tiene el mismo fin fisiológico que la transpiración, verificándose tan sólo durante el día en las partes verdes de las plantas.

(1) Son puntos de comunicación del interior de la planta con el medio exterior, constituidos por un orificio lenticular llamado *ostiole*, comprendido entre dos células reniformes denominadas *estomáticas*, cuya riqueza en cloroplastos las destaca por lo general de las demás células epidérmicas. Estos orificios, abiertos bajo la influencia de la luz, se hallan cerrados en la oscuridad por la aproximación de las paredes que los limitan.

En las plantas verdes, las radiaciones absorbidas por la clorofila tienen por efecto vaporizar gran cantidad de agua. Un pie de planta (*Triticum sativum*) tierno, descolorido y blanquecino que transpira un centímetro cúbico de agua en la obscuridad y 2,5 cc. al sol, vaporiza cuando es verde más de 100 centímetros cúbicos de agua al sol. De donde resulta que 97,5 por 100 de agua vaporizada al sol, es la parte respectiva á la clorofila, y 2,5 por 100 la correspondiente á la transpiración.

Se mide la intensidad del fenómeno operando con una planta verde y al sol, y siguiendo cualquiera de los métodos indicados para la transpiración. La cantidad de agua recogida por condensación, mide la suma de las intensidades de la transpiración y de la clorovaporización.

Para separar una de otra, se determina la intensidad de la transpiración á la luz y se hace la sustracción. Esta medida puede hacerse: con una planta blanquecina ó sin color verde de la misma especie y superficie que la planta verde estudiada, ó ya con una hoja blanca (*foliis albo-maculatis*), de la misma superficie que la hoja verde con la que se establece la comparación.

Las hojas del *Negundo fraxinifolium*, Nutt., *foliis variegatis*, que son unas enteramente verdes, y las más principalmente blancas ó jaspeadas, permiten comparar en las mejores condiciones la diferente intensidad entre los dos desprendimientos de vaporización, sirviéndonos del tubo en U precedentemente descrito (véase fig. 208).

De este modo veríamos que la clorovaporización toma la parte más activa en la eliminación del vapor acuoso por las plantas.

Por el mismo método demostrativo que para la descomposición del anhídrido carbónico, se ha llegado á probar que los rayos más activos en la clorovaporización son aquéllos que la clorofila absorbe. Hay dos máximum para la clorovaporización, siendo el predominante el que corresponde á la región más refrangible del espectro, inversamente á lo que tiene lugar para la asimilación clorofílica.

La asimilación y la clorovaporización separan y comparten entre sí, en cierto modo, las radiaciones absorbidas por los clo-

roplasmitos. Si por cualquier medio entonces paralizamos en plena luz una de las dos funciones, la otra se ejercerá con intensidad creciente. Así, por ejemplo, si por medio de los anes-tésicos (éter, cloróformo) suprimimos en una planta verde, ex-puesta al sol, la asimilación del anhídrido carbónico, la clo-rovaporización aumenta en intensidad. Inversamente, todo crecimiento en intensidad de la asimilación clorofilica, es co-rrrelativo de una disminución de la clorovaporización.

La intensidad de la clorovaporización crece con la luz. No se conoce intensidad máximum; pero comienza desde que la planta pasa de la obscuridad á la luz, y cesa en caso contrario.

La temperatura aumenta la clorovaporización, si bien la marcha del fenómeno no ha sido separada de la transpiración.

La ausencia del anhídrido carbónico del aire, aumenta la intensidad clorovaporizante.

La edad y la naturaleza de la planta tienen en dicha función una influencia directa.

En resumen: esta influencia aceleratriz de la clorofila ha conducido á distinguir en la transpiración dos fenómenos dis-tintos con relación á las dos causas que pueden producirla: 1.º, la *transpiración* que de un modo continuo se manifiesta en todas las plantas sin clorofila y se efectúa exclusivamente á expensas de las energías propias del protoplasma incoloro; 2.º, la *clorovaporización* ó *transpiración clorofiliana*, que se rea-liza únicamente en los órganos verdes expuestos á la luz, puesto que su producción requiere la intervención de las ra-diaciones absorbidas por los cloroplastos y transmitidas al protoplasma. Esta función coexiste con la anterior, á la cual une sus efectos, pues en la obscuridad, en la cual la clorova-porización cesa, aquélla sigue efectuándose.

De modo que comparadas la transpiración y respiración con la clorovaporización y asimilación clorofilica, resulta que las dos primeras se efectúan á expensas de la energía propia del protoplasma incoloro, mientras que las dos segundas exigen la intervención de las radiaciones absorbidas por los cloroplas-mitos.

**Sudación.**—Este fenómeno fisiológico, llamado también *exu-dación*, consiste en la emisión de agua líquida por las *células no verdes*, á consecuencia de una transpiración amortiguada. Sabemos que en presencia de la luz y favorecidos, de una



temperatura apropiada, los vegetales formados de células desprovistas de materia colorante y fijos en un suelo abundantemente provisto de agua, transpiran activamente. Pero como en la obscuridad y por el descenso consiguiente de calor, la transpiración se debilita de un modo extraordinario, y como al mismo tiempo la planta continúa sin interrupción absorbiendo agua del suelo, la presión que dicho líquido establece en las células de los tejidos se acentúa cada vez más, y claro es que para equilibrar este exceso de turgescencia, es forzoso y natural aparezcan en la periferia de los órganos finísimas gotas rociando su superficie, que engruesadas lentamente se escurren y caen por su propio peso para ser inmediatamente sustituidas por otras que brotan nuevamente, hasta que los rayos del sol iluminan el horizonte y la transpiración sustituye á la sudación.

Esta interesante función, que como vemos se realiza durante la noche y cesa en el día, se percibe con toda claridad en la superficie del aparato esporífero de los hongos (*Mucor*, *Pilobolus*, *Penicillium*, *Merullius*), debiendo advertir que su máximo de intensidad está en razón directa con el mayor crecimiento de los tejidos en examen.

En la primavera y antes de la apertura de las yemas, se manifiesta también la sudación en las plantas, cuando éstas absorben más cantidad de agua que la exhalada por transpiración. Así se explica que si en dicha época se hacen cortes en los órganos caulinos, gran cantidad de agua brota de las secciones practicadas; y buena prueba de ello es el conocidísimo fenómeno denominado *lloro de la vid*, que por transpirar muy poco dicha planta por su tallo y ramas respectivas, mana copiosamente por las grietas y secciones, operadas en la época de la poda, el agua abundantemente absorbida por las raíces. Este fenómeno se realiza por las yemas con mayor energía; así sucede en ciertos árboles de los trópicos, como el *brasilete pluvioso* (*Cæsalpinia pluviosa*).

Los líquidos exudados, de una limpidez casi absoluta como consecuencia de haber atravesado infinidad de membranas celulares que simulan otros tantos filtros, pueden contener en disolución algunos azúcares y sales, y poseen un índice de refracción superior al del agua pura.

Estos líquidos, además, adquieren propiedades activas en la

alimentación de las plantas, pues cuando cualquiera substancia se pone en contacto con ellos, es atacada, disuelta y absorbida después de su transformación por los mismos vegetales. Sólo así se comprende la acción de los fermentos disueltos en dichos líquidos, contribuyendo á la digestión intracelular, y, por tanto, que substancias insolubles como el almidón (trigo), reservas celulósicas (*Phœnix dactilifera*), aleurona (*Ricinus*), etc., se transformen en solubles y asimilables. Lo mismo acontece con la digestión operada por los chupadores de las plantas parásitas, y la efectuada por las raíces sobre las materias minerales del suelo.

De todo lo anteriormente expuesto, se deduce que las experiencias relativas á la *sudación* deben realizarse en ausencia de la luz y en órganos no verdes.

**Clorosudación.**—Es el fenómeno por el cual las células verdes emiten agua líquida á consecuencia de retardarse ó amortiguarse la clorovaporización.

Hemos demostrado que cuando la transpiración cesa bruscamente, los líquidos absorbidos trasudan por los membranas celulares de los tejidos aclorofílicos, dando lugar al fenómeno de la *sudación*.

Análogamente, cuando la clorovaporización cesa en los órganos verdes durante la noche, el agua procedente de las raíces es emitida por ellos al estado líquido, produciendo esta exudación clorofílica, el fenómeno de la *clorosudación*.

A la clorosudación se debe la formación de gotas que, cual si fueran de rocío, aparecen entre éstas cubriendo las hojas, siendo bien perceptibles en los meses de primavera y verano sobre las gramíneas que principalmente tapizan las praderas.

Estas gotitas de agua son exudadas, bien por hendiduras especiales que ofrecen algunas hojas cerca del vértice de las mismas (trigo); ora principalmente por estomas acuíferos (1) que se hallan en las hojas, unas veces en el ápice limbar (*Colocasia*, *Richardia*), otras en los dientes (fig. 210) que coronan sus bordes (*Brassica*), ó en diversos puntos de su superficie (*Solanum*, *Tropæolum*, *Papaver*); ya indistinta y directamen-

(1) Son estomas localizados generalmente sobre el borde de las hojas, cuyos ostiolo, siempre abiertos, dan acceso á un parénquima acuífero que se halla en contacto con las terminaciones de las últimas ramificaciones vasculares.

te á través de las membranas celulares externas de los órganos, sin que sea precisa la formación de los indicados estomas, como acontece en los *nectarios*.

La cantidad de agua expulsada está en relación con la superficie de la hoja: por esto es muy considerable en ciertas plantas tropicales (*Musa*, *Maranta*, *Amomum*, *Colocasia*, *Richardia*, etc.) Así, por ejemplo, una hoja de *Colocasia* arroja por los estomas acuíferos de su vértice de 20 á 30 gramos en una noche, advirtiéndose además un movimiento de vaivén en dichas hojas cada vez que se escurren con violencia las gotas anteriormente formadas.

Estos líquidos clorosudados contienen á veces en disolución diversas sustancias, oscilando la cantidad de éstas entre 0,007 y 0,120 por 100 gramos.

Mas si la hoja se convierte en un órgano hueco y abierto llamado *ascidia*, bien adquiere la forma de cuerno ó cucurucho (*Sarracenia*

de los Estados Unidos), de urna con tapadera (*Nepenthes* de la India y de Ceilán, *Cephalotus* de Australia), ó de ampollas aplastadas con opérculo (*Utricularia*), el líquido clorosudado se almacena lentamente en el fondo de las cavidades así formadas, adquiere reacción ácida (ácido cítrico y málico), y contiene además 1 por 100 de materias sólidas, debiendo de advertir que la cuarta parte de esta unidad de sustancias sólidas corresponde á productos orgánicos, y el resto á sales minerales.

Finalmente, si los líquidos clorosudados manan precisa-



Fig. 210.—Demostración de la clorosudación.— La presión ejercida por la columna de mercurio *c m*, provoca por los estomas acuíferos la salida de una gotita de agua cerca de cada diente limbar de las hojas.

mente en tejidos donde la planta deposita materiales en reserva, y gozan éstos de la circunstancia de ser solubles en aquéllos, entonces coincide la disolución con la emisión, según el análisis puede comprobar.

Si el líquido atraviesa reservas azucaradas (nectarios), el jugo trasudado las contiene, recibiendo entonces el nombre de *néctar*.

El néctar se localiza principalmente en las flores, si bien puede desarrollarse en otros órganos diferentes (hojas). Esta particularidad, unida á la de los matices que las flores ofrecen,

constituyen un atractivo para los insectos que indirectamente contribuyen á la polinización.

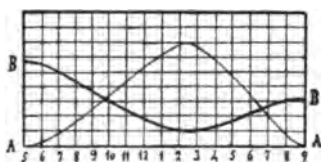


Fig. 211.—Gráfica comparativa de clorovaporización y formación de néctar en la *Lavandula vera* (según Bonnier). Los números indican las horas correspondientes al día 27 de Junio, desde las cinco de la mañana hasta las nueve de la noche.—A, curva que representa el peso de agua clorovaporizada; B, curva de los volúmenes de néctar emitido.

Todas las circunstancias que influyen sobre la clorovaporización, actúan en sentido inverso en la formación del néctar (fig. 211). De suerte que, modificando á nuestro modo la clorovaporización, ya retrasándola, bien activándola, haremos nectaríferas plantas que no lo son naturalmente, é impediremos que plantas nectaríferas lo sean.

**Secreciones, excreciones.**—Al mismo tiempo que la célula incorpora en su sér el alimento necesario al entretenimiento de su vida, el protoplasma es asiento de *descomposiciones*, de donde nacen diversos productos, los unos inaptos para ser de nuevo asimilados por las células, y, por consiguiente, excluidos del ciclo de las transformaciones vitales, como verdaderos desechos sin empleo alguno; los otros, por el contrario, llamados á llenar una función secundaria, y desde luego susceptibles de ser nuevamente reasimilados.

Ahora bien: como consecuencia de la división del trabajo fisiológico, los seres pluricelulares disponen y localizan en ciertas células aisladas (*Pogostemon patchouli*), ó agrupadas (ruda, naranjo, pino, lechetrezna) y diferenciadas por su forma

y contenido, esta misión tan especial de elaborar productos con ó sin empleo ulterior para la planta.

La elaboración de estos productos en general, sin empleos conocidos para los vegetales, recibe el nombre de *secreción*.

Se puede distinguir: la *secreción propiamente dicha*, caracterizada por la permanencia de los productos en el seno mismo de las células que les han dado origen; y la *excreción*, función en la cual los productos elaborados son arrojados fuera de las células y depositados en general en los espacios intercelulares ó en la superficie misma de aquéllas.

Las *secreciones propiamente dichas* se caracterizan, según hemos dicho, por la permanencia de los productos en el seno de las células. Los productos de secreción á veces se hallan *disueltos* en el jugo de vacuolas protoplásmicas especiales (taníferas, diastásigenas), á veces *figuradas* (oxalato de cal, mucílago de las Malváceas y Cactáceas, albúmenes corneos, semilla).

Las células secretoras son á veces aisladas (raíz del *Acorus*, pelos de *Urtica*...), á veces asociadas y constituyendo los llamados *vasos secretores* ó tubos laticíferos (Adormidera, Chicoráceas, Euforbiáceas).

Desde el punto de vista fisiológico, las secreciones propiamente dichas representan: unas veces reservas, ya diastásicas (emulsina, mirosina, véase pág. 206), ya de alcaloides (véase pág. 220), que sirven respectivamente para asegurar la digestión de otras substancias, ó para ser asimiladas ulteriormente; otras veces depósitos de agua (mucílagos de Malváceas); y por fin, productos eliminados, como en ocasiones acontece con las células taníferas y constantemente con las células oxalíferas, frecuentemente protectoras de la planta, y cuyas células generadoras, al principio muy activas, pierden á la larga su vitalidad.

La composición química de los productos segregados, como es natural, es muy sencilla. Algunos son cuaternarios (sini-grina, amigdalina); pero en general son ternarios (gomas), ó binarios reducidos á carburos de hidrógeno (resinas...)

Las secreciones se clasifican por la utilidad de los productos en *recrementicias*, que son reasimiladas (taninos del fruto del manzano y médula del rosál), *excrementicias* (taninos de la corteza y hojas del roble, corteza y bedegares del rosál), que

no tienen empleo nutritivo; es verdad, pero, en cambio, es defensivo para las plantas.

Las excreciones se realizan por *trasudación* ó por *derramamiento*. Las primeras tienen lugar por extravasación de los productos á través de las membranas (canales secretores, pino), y las segundas son aquellas en que los productos se esparcen á consecuencia de disoluciones ó liquefacciones de las membranas celulares (glándulas de las Rutáceas).

Las excreciones por trasudación pueden ser *externas* é *internas*.

En el primer grupo citaremos las *digestivas*, *nutritivas* y *protectrices*.

A las *digestivas* corresponden los jugos con principios peptonizantes trasudados por los pelos de las hojas (*Drosera*, *Pinguicula*, *Dionea*, *Utricularia*), y las sustancias eliminadas por los rizoides de los musgos y pelos radicales de las plantas en general, que sirven para la digestión externa de los principios insolubles del suelo, como son ácidos libres (anhidrido carbónico y málico), sales (fosfato ácido de potasio), y más raros (sulfatos de calcio y magnesio). Entre las *nutritivas*, indicaremos las exudaciones del estigma (pistilo floral), destinada á recibir, retener y facilitar la germinación del polen, y las exudaciones nectaríferas que favorecen el fenómeno de la polinización por los insectos, para la fecundación de las plantas. Y finalmente, entre las *protectrices*, las exudaciones resinosas de las escamas protectoras de las yemas, las calcíferas (*Saxifraga crustacea*, *Plumbago Larpentæ*, *Statice pruinoso*), cuya excreción cubre casi por completo en algunas plantas toda la superficie epidérmica (*Saxifraga*); las ceríferas (palmera de cera, caña de azúcar, véase pág. 85) y silicíferas (*Equisetum*, carrizos, Diatomeas).

En el segundo grupo, ó sea entre las *excreciones internas*, tenemos las esencias, oleo-resinas, gomo-resinas y bálsamos, que por aparatos secretores especiales (glándulas, nódulos y canales secretores) y por trasudación de las membranas celulares (pino), son depositadas en los espacios intercelulares que dichas células secretoras constituyen.

Finalmente, las *excreciones por derramamiento* se distinguen porque los productos secretores elaborados en las células generatrices y conservados en las mismas por algún tiempo,

son arrojados después, fuera ó dentro de la planta, por rotura ó desorganización de las membranas celulares que los contenían.

Por esta razón estas excreciones pueden ser también *externas* é *internas*, según que se operen en la parte externa del vegetal, y los productos son expulsados al exterior (pelos epidérmicos de las Labiadas, Cannabíneas), ó en el interior de la planta, y vertidos en cavidades intracelulares (nódulos secretores de la ruda).

En el primer caso, como sucede en los pelos epidérmicos de la menta, espliego, cáñamo, etc., aparecen en la periferia de los protoplasmas celulares respectivos, gotas finas de esencias solubles en alcohol, las que, aumentando de volumen, se acumulan entre la capa celulósica de la membrana celular y la cutícula exterior. Dicha cutícula, cada vez más distendida por la expansibilidad de la esencia bajo la influencia del calor del día, termina por romperse, dando salida á la esencia que se esparce sobre el órgano de la planta. Notemos de paso que, gracias á la acción absorbente que ejercen los vapores de la esencia sobre la radiación solar, son preservadas las plantas de los rigores del estío (1).

En el segundo caso, las células generatrices que forman las *bolsas secretoras* (ruda), se rompen las membranas envolventes, y los productos segregados son expulsados en la cavidad intracelular esférica que dichas células secretoras tapizan ó circunscriben. La formación y desparramamiento de las gomas y mucílagos es correlativa de la desorganización de las membranas celulares, ó sea de una degeneración ó degradación de las membranas respectivas.

**Substancias plásticas y productos eliminados.** — Todos los compuestos químicos que se originan en la serie ascendente ó corriente asimilativa, no son siempre y necesariamente empleados en la edificación y crecimiento del protoplasma, plasmitos, núcleo y membrana. Por análoga razón, todos los productos que se forman en el curso descendente de los fenómenos desasimilativos, tampoco son absolutamente inútiles al organismo. Algunos de los primeros pueden permanecer indefini-

(1) Lo mismo sucede con el muclago de la semilla del lino, que su hinchazón en presencia del agua ocasiona la rotura de la cutícula.

damente sin empleo; varios de los segundos pueden ser reasimilados.

Al conjunto de los compuestos susceptibles de formar parte en la edificación y crecimiento de las diversas partes celulares del vegetal, cualquiera que sea su origen, se les da el nombre de *substancias plásticas*. Y á aquellos otros compuestos, independientemente también de su origen, que formados en las células no tomen parte directa en el crecimiento, reciben la denominación de *productos eliminados*.

Es necesario observar, sin embargo, que la misma substancia química puede ser, según las plantas y el lugar donde se produce, una substancia plástica ó un producto eliminado ó segregado. Así, por ejemplo, los cuerpos grasos de ciertas semillas (ricino, amapola, adormidera), como materiales de reserva, son substancias plásticas, mientras que los compuestos grasos del fruto del olivo son productos eliminados: del mismo modo que la sacarosa del tallo de la caña de azúcar y de la raíz de la remolacha es una substancia plástica, y, en cambio, la misma substancia en el fruto del banano es un producto eliminado, etc. Otro tanto pudiéramos decir de los taninos, que, aun en una misma planta, como acontece en el rosal (véase pág. 185), tienen este doble carácter.



## SECCION CUARTA

### FENÓMENOS INHERENTES AL FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LA CÉLULA

#### CAPITULO PRIMERO

##### RESTITUCIONES DE ENERGÍA—EMISIÓN DE CALOR, LUZ Y ELECTRICIDAD—MOVIMIENTOS

La restitución de energía se patentiza en las células por la emisión de radiaciones que en parte devuelven los vegetales al medio externo de donde las tomaron.

El trabajo vital manifestado en la nutrición del protoplasma celular, se basa principalmente: 1.º, en una incesante *absorción de energías* como consecuencia de la incorporación de la radiación y el alimento; 2.º, *transformación de dichas energías*, ó sea tránsito de fuerzas vivas (radiación) ó potenciales (alimento), en fuerzas de tensión, merced á los fenómenos endotérmicos ó de reducción (formación de hidratos de carbono y substancias albuminoideas); y 3.º, *restitución de energías*, es decir, creación de energías para la permanencia de la vida (respiración) por medio de fenómenos exotérmicos ó de oxidación, de desdoblamiento, hidrataciones y reacciones bioquímicas operadas entre sales diversas ó entre ácidos y sales.

Pero esta restitución de energías creadas en el laberíntico proceso bioquímico vegetal, no puede ni debe ser comparada con la insignificante emisión ó desprendimiento de radiaciones al medio externo. Decimos esto, porque la principal parte energética, á medida que se engendra, parece consagrarse, en primer término, á favorecer el mecanismo de los múltiples *trabajos internos*, que son los que realizan sin cesar la elaboración de los innumerables cuerpos ó compuestos que se encuentran en las células vegetales; y en segundo término, al cumplimiento de los *trabajos externos*, que aun cuando de es-

casísima importancia en el reino vegetal, se exteriorizan en los *movimientos*. Mientras que la otra parte que libre queda es la que con el nombre de *emisión de radiaciones*, y también con el de *fuerzas producidas en los vegetales*, se manifiesta algunas veces en los fenómenos de *calor, luz y electricidad* desprendidos por las plantas.

**Emisión de calor.**—Las oxidaciones que se verifican en el citoplasma, ó la serie de reacciones respiratorias, como consecuencia de la absorción de oxígeno, y el desprendimiento de anhídrido carbónico, principio y fin de tan esencial función, dejan en libertad radiaciones caloríficas.

Para cada cantidad de anhídrido carbónico producido que contenga un gramo de carbono, se desprenden 8.000 calorías próximamente. Mas como resulta que la absorción con los fenómenos osmóticos y difusivos que le acompañan, la digestión, y, sobre todo, la asimilación del carbono, síntesis de las sustancias albuminoideas y demás productos endotérmicos, transpiración y la clorovaporización, son funciones que consumen muchas calorías, es lógico que las plantas emitan cantidades insignificantes de calor.

Independientemente de las *oxidaciones intracelulares*, donde la intensidad máxima coincide con el máximo de calorificación, se pueden citar como agentes termogénicos las *hidrataciones* ó hidrólisis por medio de los fermentos, las reacciones de *sales con sales* ó *sales con ácidos*, y, finalmente, el *desprendimiento de calor durante la asfixia*.

Si enfrente de estos manantiales termogénicos, las causas consumidoras, dentro de su variabilidad, son inferiores, iguales ó superiores, el cuerpo de la planta ó el sér pluricelular desprenderá ó recibirá calor del medio externo. Así sucede que las plantas ó partes de planta que no asimilan carbono y no clorovaporizan por faltarles la clorofila, y además transpiran poco, como las causas del consumo son inferiores á las de producción, desprenden calor al medio exterior.

Semillas hay que, germinando, elevan la temperatura del termómetro de 10 á 12° en el trigo, 17° en el trébol y 20° en la berza.

Las flores, respirando, desprenden más calor que los otros órganos vegetales, y los tallos y hojas en algunos casos también han acusado emisiones de calor.

Las inflorescencias de las Cicadáceas y Palmáceas, que son muy voluminosas, desprenden bastante calor, lo mismo que las Aráceas (*Philodendron*, *Arum*). El espádice floral de estas plantas aroideas permite con bastante exactitud determinar la elevación de temperatura desprendida en el período de florescencia.

Esta emisión de calor, que en las flores y semillas se manifiesta con tanta actividad, es debida á la gran intensidad respiratoria observada en dichos órganos (véase pág. 410).

En efecto: sabido es que las plantas durante el proceso germinativo fijan mucho más oxígeno que el correspondiente al exhalado bajo la forma de anhídrido carbónico, y desprenden un número de calorías constantemente superior al que la producción de dicho gas requiere. Estos excedentes hacen sospechar que tienen combinaciones en las que se invierte la diferencia observada de oxígeno y que origina la de calor emitido.

Estas combinaciones parecen referirse á la del oxígeno con el hidrógeno de los cuerpos grasos almacenados en las semillas ó en la génesis de cuerpos muy oxidados (almidón, azúcares) á expensas de los albuminoides y productos grasos pobres en oxígeno, como claramente se patentiza en las semillas oleaginosas.

Entre los principios orgánicos que más calor originan, los cuerpos grasos y los hidratos de carbono ocupan preferentemente lugar. Así acontece, que cuanto más avanzado se halla un tubérculo de patata en su desarrollo, tanto más calor desprende, á la par que respira con más actividad.

Por eso la cantidad de calor desprendida por las plantas, no sólo está en razón directa de su desarrollo y de la temperatura, sino también de la naturaleza y proporción de los principios combustibles en ellas depositadas.

Esta influencia de los hidratos de carbono en la calorificación se comprueba analizando las inflorescencias de las Aráceas. En el *Philodendron*, por ejemplo, el espádice encierra la cuarta parte de su peso seco en forma de azúcares y de almidón antes de la floración; efectuada ésta, se observa que la cantidad de dichos hidratos se ha reducido á dos terceras partes, permaneciendo sensiblemente igual las proporciones de los demás elementos (albuminoides, etc.) La gran producción de calor efectuada durante el período de floración comprendido en-

tre varias observaciones, parece emanada del consumo de los hidratos de carbono que el segundo análisis acusa.

Para medir estos efectos térmicos, se usan dos termómetros. El uno, recubierto de un peso determinado de materias inertes; el segundo, envuelto en el mismo peso, de plantas en respiración. La diferencia de las indicaciones en ambos aparatos mide próximamente el calor desprendido.

**Emisión de luz.**—En casos más limitados, las células vegetales despiden radiaciones luminosas, y como dichas radiaciones tienen analogía con la que el fósforo esparce en el aire por oxidación, de aquí el nombre de *fosforescencia* que se ha dado al fenómeno.

Por esta razón, algunas Bacteriáceas se denominan *bacterias fotógenas* ó *fotobacterias*, y como tales pueden indicarse el *Photobacterium phosphorescens*, que pulula en las aguas de todos los mares; el *Ph. luminosum*, del mar del Norte y costas de Holanda; el *Ph. Fischeri*, del mar Báltico, y el *Ph. Indicum*, del Océano Indico.

Es más: estas bacterias, y principalmente el *Photobacterium phosphorescens*, viven y se desarrollan en la sangre de algunos animales crustáceos (*Talitrus saltator*, llamado pulga de mar), iluminando el cuerpo del animal durante la noche con una fosforescencia de color verdoso. Mas al cabo de pocos días, y á consecuencia de las toxinas segregadas por la fotobacteria, la fosforescencia disminuye y el crustáceo sucumbe. Dicha enfermedad puede ser inoculada á otros distintos animales, según confirman las experiencias de M. Giard, realizadas sobre los géneros *Orchestia littorea*, *Ligia oceanica*, *Hyale Nilssoni*, y hasta en el *Porcellio seaber* (cochinilla de humedad). La particularidad de manifestarse la fosforescencia á través de la carne de estos seres, ha hecho que, tomando el efecto por la causa, se denominen á estos micro-organismos *Bacterias de la carne fosforescente*.

El fenómeno de la fosforescencia es debido también á algunos hongos. Así, por ejemplo, el talo del *Agaricus melleus* ó *Armillaria mellea*, que ataca principalmente á los árboles de bosque (pino, abeto, castaño, á veces á la viña), se desenvuelve en la parte *exterior* de la raíz del árbol atacado, y en la porción *intracortical*. La parte externa consiste en cordones negros y brillantes muy manifiestos, que serpentean la superficie de la

raíz, y de donde se ramifican en todos sentidos por el suelo para buscar otras plantas hospitalarias vecinas. La porción intracortical ofrece el aspecto de cordones blancos, aplastados y anastomosados en forma de red. En razón de la semejanza de estos cordones, que son aglomeraciones filamentosas del talo, con las raíces, se les llama *rhizomorfos*.

Pues bien: de estas dos partes del talo, únicamente los *rhizomorfos intracorticales* que se desarrollan cerca de la capa generatriz libero-leñosa de la raíz, son los que producen de noche el fenómeno de la *fosforescencia* y dan lugar, por consiguiente, al *leño reluciente* de los bosques.

Otras diversas especies del mismo género *Agaricus* (actualmente subdividido en otros) emiten también radiaciones luminosas, como sucede, por ejemplo, con las láminas himeniales del aparato esporífero del *Agaricus olearius* ó *Pleurotus olearius*, que vive parásito al pie de los olivos.

La luz emitida es blanca; su producción corresponde á una respiración intensa, y cesa en presencia de gases inertes.

**Emisión de electricidad.**— Respecto á la energía eléctrica emitida por las células vegetales, se sospecha que siendo la planta laboratorio de multitud de acciones químicas, sea foco, por consiguiente, de manifestaciones eléctricas.

Sólo así se comprende, según observaciones practicadas, que los tejidos internos del aparato aéreo estén electrizados negativamente con respecto á los externos; el interior del aparato radical sea electro-positivo con relación al exterior, y las nerviaciones de las hojas electro-positivas frente al parénquima foliar.

Sin embargo, de todas estas emisiones de energía, donde la restitución al medio es más ostensible, ó sea, donde parte del gasto energético se refleja á medida que se engendra, es en la producción de trabajos *externos* traducidos en *movimiento*.

#### MOVIMIENTOS

La planta, como el animal, es en verdad *irritable*, es decir, impresionable por los estimulantes externos y capaz de reaccionar á estas excitaciones, no sólo con variaciones de forma y á veces de estructura, sino también con *movimientos*.

El protoplasma celular, extremadamente inestable y móvil

ante diversas *influencias excitantes*, modifica la forma de su movimiento ó sale del estado de reposo; y los cambios de lugar que en él pueden manifestarse, deben ser considerados en sí mismos como reacciones opuestas por la substancia viva á las causas motoras; es decir, que en los vegetales hay movimientos *per accidens*, no movimientos *per se*.

**Tipos de movimiento.**—Los movimientos de los vegetales son: unos, puramente *interiores*; otros, á la vez, *interiores* y *exteriores*. Los primeros se refieren á *movimientos intracelulares*, y los segundos á verdaderas *locomociones*, bien interesen al cuerpo entero (*locomoción total*), bien á porciones del cuerpo de la planta (*locomoción parcial*).

Distinguiremos además de estos *movimientos propiamente dichos*, que justifican ó testifican directamente el estado vital del protoplasma, los que están *ligados al crecimiento* (curvas ó flexiones geotrópicas, termotrópicas, fototrópicas, hidrotropicas de la raíz y del tallo), y los procedentes de la *imbibición ó desecación del cuerpo* (movimientos de la Rosa de Jericó).

### 1.—Movimientos propiamente dichos.

**Movimientos intracelulares.**—Ya hemos visto (pág. 102) que estos movimientos consisten en desplazamientos de los microsomas ó granulaciones protoplásmicas en el seno de las mallas plásmicas contenidas en el retículo del citoplasma. Estos movimientos se acentúan con la temperatura y con el mutuo cambio osmótico de los jugos que rodean exteriormente á la célula.

Ni el núcleo ni los cuerpos clorofílicos en las células encerrados tienen movimiento propio.

Estos organismos se mueven únicamente conducidos por el protoplasma, y sobre ellos y sobre algún otro corpúsculo figurado del protoplasma, se fija separadamente y con atención la mirada del observador para evidenciar el fenómeno en cuestión.

En realidad, este movimiento es una verdadera *circulación* confusa de granulaciones en el seno de los cordones ó filetes protoplásmicos, ya en sentido longitudinal ó *rectilíneos* (*Urtica*, *Chelidonium*, *Tradescantia*), bien en sentido *circulatorio* ó *ciclosis* (*Elodea canadensis*, véase pág. 102).

La *influencia de la luz* sobre los movimientos protoplásmi-

cos, es puramente directriz. Baste recordar que la luz (página 110), y sobre todo las radiaciones violetas, provocan sobre los cuerpos clorofílicos una orientación particular, pues de día se disponen en el interior de las células de *frente* á la luz incidente (posición epistrópica), y de noche de *perfil* (posición apostrópica). De aquí la tinta verde más intensa de la cara superior de las hojas expuestas á la luz, con relación al color más claro que ostenta la cara inferior, y también al que dichas hojas ofrecen colocadas á la sombra ó en la obscuridad.

El movimiento intracelular no debe ser considerado como una función puramente intrínseca, ligada á la naturaleza del protoplasma é independiente del medio exterior; antes, por el contrario, es el resultado de excitaciones que experimenta la substancia viva de parte del medio ambiente y particularmente de la radiación, oxígeno y jugo celular. Sólo así se concibe que los movimientos cesen en ausencia del oxígeno, y por la acción de bajas temperaturas.

**Movimientos de locomoción.**—La presencia de la *membrana rígida de celulosa* en las células vegetales, se opone por regla general al cambio de lugar del protoplasma que aquélla envuelve; y por eso las locomociones que se observan recaen precisamente en plantas ó porciones de plantas desprovistas de membrana celular. Estudiaremos, sin embargo, los dos casos de movimiento.

**α. Locomoción de protoplasmas sin membrana.**—Este género de movimiento se observa casi exclusivamente en las plantas criptógamas, y es ejecutado unas veces por la planta entera (Mixomicetos), otras por corpúsculos reproductores disociados de la planta (gametos, zoosporas). En el primer caso, la locomoción se califica de *amiboide* ó de reptación; en el segundo se realiza de ordinario á expensas de la agitación de pequeñas prolongaciones protoplásmicas hialinas denominadas cirros vibrátiles (1) y se dice *ciliar* ó *vibrátil* (véase figs. 75 á 79, páginas 104 á 106).

(1) Cuando son largos y existen en corto número, de uno á cinco cuando más, reciben el nombre de *flagelos*. Los cirros apenas alcanzan una longitud de 15 á 20 micras, y se diferencian de las pestañas vibrátiles por su espesor; por la forma, que es ensanchada en la base y afilada en el extremo, y además por su diferenciación fibrilar.

6. **Locomoción de protoplasmas con membrana.**—Las plantas en este caso pueden poner en movimiento todo su cuerpo (locomoción total), sea por *contractilidad general* de sus protoplasmas, sea por *contractilidad ciliar*; ó solamente una parte de su cuerpo, quedando la otra fija (locomoción parcial).

**Locomoción total por contractilidad general.**—Este modo de locomoción es característico de diversas algas correspondientes á las Bacteriáceas, Oscilariáceas, Desmidiáceas y Diatomáceas.

**Bacteriáceas.**—Gran número de éstas, como el *Bacillus komma* (*B. virgula* del cólera) y el *Spirillum tenue*, se hallan animadas de un movimiento de contractilidad general muy activo, que cesa en el momento que se reúnen en colonias gelatinosas. Otras, como el *Bacterium termo*, que vive en las aguas corrompidas, y el *Bacillus subtilis* (bacilo de las infusiones de heno), que habita en las aguas estancadas, están dotados de un movimiento oscilatorio, y también se inmovilizan cuando se constituyen en colonias, formando en la superficie de las aguas donde viven, capas ó estratos más ó menos espesos y gelatinosos.

Las Bacteriáceas (*B. termo*) pueden conservar durante algún tiempo sus movimientos, á pesar de estar coloreadas por reactivos como el violeta de metilo, la fuchsina, etc.

Ciertas especies se hallan provistas de *pestañas vibrátiles* muy delicadas que á veces se localizan en las extremidades de la célula (*Spirillum undula*) en forma de mechón ó de pincel, y otras recubren todo el cuerpo (*Bacillus subtilis*). Claro es que estas pestañas intervienen con el cuerpo protoplásmico, de cuyo contráctil, al movimiento, por cuya razón los movimientos son más ágiles.

**Oscilariáceas.**—Estas sencillas algas, vecinas de las Bacteriáceas, de color verde azulado y de mayor talla, permiten observar directamente sus movimientos contráctiles aun sin el auxilio del microscopio.

En las *oscilarias* (del latín *oscillare*, columpiarse), que forman en los estanques estratos ó montones filamentosos de un verde azulado, la extremidad de los filamentos adultos describe lentamente un movimiento elíptico, y si están en vías de crecimiento, el movimiento es helicoidal.

Es suficiente abandonar estas algas en un cristalizador lleno



de agua frente á una ventana para ver emigrar todas las oscilarias contra la cara del recipiente, directamente expuesta á la luz del día, y una vez allí continuar su movimiento oscilatorio ó helicoidal.

**Desmidiáceas.**—Este grupo interesantísimo de algas verdes, ordinariamente microscópicas, viven en las aguas estancadas y casi siempre al estado disociado, y sus células están dotadas del movimiento consabido de contractilidad general.

La luz ejerce sobre ellas acciones directrices muy notables, y no repetiremos lo que acerca de las *closterias* se dijo respecto al particular (véase pág. 292).

**Diatomáceas.**— En estas algas pardas, á pesar de la incrustación silícea de su membrana, es frecuente también el movimiento oscilatorio.

Por la tabicación transversa de la célula original, dos ó más células apiladas y aplastadas se constituyen con la forma y contorno propio de las especies; y después que la disociación se opera por gelificación, las células se alejan unas de otras, siguiendo una dirección perpendicular al eje del filamento de donde provienen.

**Locomoción total ciliar.**—Es muy frecuente en las algas normalmente unicelulares, y, además de ser muy activa, se efectúa durante todo el proceso vital de la planta, lo que no ocurre con las zoosporas y los anterozoides.

Entre los ejemplos que podemos tomar como tipo de estos movimientos, consideraremos:

1.º La *Euglena viridis* de las Palmeléceas. Esta célula, provista de membrana celulósica, cloroplastos, una vacuola contráctil, y marcada con un punto rojo, se halla terminada en una de sus extremidades de una larga pestaña protoplásmica.

Además del movimiento flagelifórme de la pestaña, se observa en las Euglenas una singular contracción de todo el cuerpo, así como una especie de movimiento peristáltico, calificado de *movimiento metabólico*, que se propaga por ondulación de un extremo á otro.

2.º El talo de otras algas, constituido por asociación de células primitivamente libres (*Cenobieas*), está dotado del mismo modo de una locomoción ciliar muy pronunciada. Cada una de las células en las especies móviles, se halla provista de dos

pestañas vibrátiles, y se disponen por asociación, bien formando un disco plano (*Gonium pectorale*), bien constituyendo una esfera hueca (*Volvox aureus*).

En los *Gonium* que se encuentran en las aguas estancadas, la lámina verde que forman por su reunión, comprende ordinariamente de 8 á 16 células, y las pestañas protoplásmicas están dirigidas hacia el mismo lado. Estos pequeños organismos, conservando siempre la lámina horizontal constituida, recorren en línea recta ú ondulada el campo del microscopio de un extremo á otro.

En los *Volvox*, la asociación ó cambio de forma esférica y erizada de pestañas dirigidas en la prolongación de los radios, gira rápidamente sobre sí misma como automáticamente.

Fijémonos, antes de terminar, que en ninguno de los movimientos tan activos de estas plantas hay ni siquiera el menor asomo de que puedan ser *voluntarios*.

**Locomoción parcial.**—Se verifica en porciones del cuerpo de la planta (movimientos de hojas y de flores), y no se produce, hasta tanto dichas partes orgánicas hayan terminado su crecimiento.

**No es pertinente, tratando sólo de la célula, estudiar cuestiones que corresponden de lleno á la morfología y fisiología de los seres pluricelulares.** Sin embargo, como no es muy lógico trincar dicho estudio y dejar incompleto todo lo referente á motilidad vegetal, indicaremos, siquiera sea á la ligera, todo lo que se ha escrito respecto al particular, relatando clasificados los movimientos más importantes, sin detallar, por carecer de base, ni el modo de realizarlos, ni tampoco la estructura de las partes orgánicas causa de tales movimientos, pues para ello es preciso, como hemos dicho antes, el pleno conocimiento de los tejidos constitutivos de los órganos.

La facultad motil de las hojas reside especialmente en unos abultamientos basales del peciolo principal y peciolos secundarios de las hojas compuestas, denominados *cojinetes motores*. Y si ocurre á veces que en algunas otras hojas desprovistas de estas hinchazones motoras, se observa también el fenómeno (*Nicotiana, Balsamina*); esto acontece cuando los órganos se hallan en vías de crecimiento, aumentando la facultad motora en el período de apertura yemal, y anulándose con el desarrollo acabado de los órganos.

Los movimientos de las hojas y de las flores podemos distribuirlos en tres órdenes:

1.º Unos, denominados *movimientos espontáneos* (*Hedysarum gyrans*, *Oxalis acetosella*), que son dependientes de excitaciones internas de orden nutritivo y debidos probablemente á cambios en la composición de los jugos.

A ellos debemos referir la apertura de las piezas periánticas de la flor (*Ornithogallum umbellatum*, *Portulacca oleracea*, *Silene noctiflora*, *Cereus*, *Victoria regia*), que se abren á determinadas horas del día, á consecuencia de turgencias celulares en las caras internas del periantio, y se cierran á otras horas del mismo día ó siguiente, por contracciones de las células de dicha cara interna auxiliada con el acrecentamiento de las de la cara externa.

Fenómenos análogos observamos en los estambres (*Ruta*, *Fraxinella*, *Parnassia*), los cuales se recurvan ó arquean sus filamentos para posar las anteras sobre el estigma pistilar, asegurando de este modo la polinización, y una vez realizada ésta, recobran de nuevo la posición que tenían sobre los pétalos. Estos movimientos son debidos á turgescencias y plasmolisis inversamente realizadas en las generatrices diametralmente opuestas de los filamentos estaminales, generalmente cilíndricos.

2.º Otros son llamados *movimientos nictitrópicos*, por ser provocados con variaciones de luz á obscuridad. Estos movimientos, calificados de *vigilia* y *sueño* de las plantas, se observan principalmente en las hojas compuestas (sensitiva, acacia, falsa acacia, trébol, alfalfa, judías, altramuz, acederilla), y consisten en disponerse los foliolos de las hojas durante el día en posición horizontal, y realizar de este modo las funciones que les están encomendadas, replegándose de noche sobre sí mismas, paralizando así la transpiración que preserva á la planta del enfriamiento nocturno, tan perjudicial á las hojas jóvenes y delicadas en las noches claras de primavera.

Esta posición nocturna se realiza en algunas plantas (*Trifolium*, *Medicago*, *Vicia*) girando los foliolos hacia arriba, es decir, aplicando sus caras superiores unas con otras; por el contrario, en otros vegetales (*Lupinus*, *Robinia*, *Phaseolus*, *Oxalis*) los foliolos se arquean hacia abajo, aproximándose en este caso por las caras inferiores.

Los movimientos de vigilia y sueño de las hojas son determinados por *variaciones desiguales de turgescencia* realizadas periódicamente en las dos mitades superior é inferior de los cojinetes motores, variaciones que entrañan necesariamente una curva convexa del lado en que la turgescencia es mayor.

En ciertas flores (corolas de la corregüela y de la patata) se observa el mismo fenómeno que en las hojas, es decir, se cierran de noche y se abren por la mañana, mientras que algunas otras flores (*Tulipán*, *Nenúfar* blanco), no sólo obedecen á la luz, sino también á acciones térmicas determinadas.

3.º Finalmente, se comprenden bajo el nombre de *movimientos provocados* todas aquellas reacciones motrices que ejecutan los órganos de plantas obedeciendo á estímulos mecánicos, como contactos, choques, picaduras, etc.

Convengamos, según esto, que los movimientos del sueño y vigilia descritos anteriormente, son también movimientos provocados, pues tan escitantes son las variaciones térmicas ó luminosas que originan aquéllos, como el choque ó la presión produciendo éstos.

Además, si se han calificado de espontáneos los movimientos del *Hedysarum gyrans* y de algunas otras hojas y flores anteriormente citados, debido es á que ignoraban los científicos se produjeran en dichas plantas variaciones intracelulares ligadas á cambios de medio, ó sea que los órganos vegetales respondían con reacciones motrices las excitaciones recibidas por estímulos diversos.

La hoja del Desmodio oscilante de la India (*Hedysarum gyrans*) es trifoliada; su foliolo terminal (3 á 5 centímetros) es mucho más desarrollado que los dos laterales cortamente peciolulados. Los tres foliolos están provistos de su hinchazón motora correspondiente.

De día como de noche los dos foliolos pequeños ejecutan un movimiento de oscilación, de tal modo que cuando uno sube el otro baja, y dibujan en el espacio, en cada uno de estos movimientos, un cono, cuyo vértice corresponde al punto de inserción del foliolo. Estos desplazamientos, por causas diversas, son interrumpidos momentáneamente algunas veces, continuando después la evolución que tenían emprendida. El foliolo terminal, por el contrario, responde á las causas de los movimientos nictitrópicos, y por tanto, horizontal durante el día, desciende al anochecer.

Una temperatura superior á 22 grados es suficiente para que los foliolos (dos á cinco minutos) describan por entero su movimiento conoidal. En nuestras estufas estos movimientos se debilitan poco á poco.

Los movimientos provocados que más llaman la atención por ser de todos conocidos, son, en las hojas, los respectivos á la Sensitiva (*Mimosa pudica*) dotadas también de nictitropismo, del Atrapamoscas (*Dionea muscipula*), y los del Rocío del sol (*Drosera rotundifolia*); y en los estambres los referentes al *Berberis vulgaris*, *Centaurea Jacca*, *Sparmannia africana* y estigma del *Mimulus*.

Cuando se agita una rama de Sensitiva ó se toca sencillamente la cara inferior y velluda de los cojinetes motores primarios y secundarios, se ve el peciolo principal descender, y los peciolillos secundarios se aproximan los unos á los otros, al mismo tiempo que los foliolos se inflexionan hacia arriba. La hoja, en una palabra, toma la posición nocturna.

Los movimientos del Atrapamoscas y Rocío del sol son ocasionados por el contacto de los insectos, y están ligados á la excreción de líquidos que parecen dotados de propiedades digestivas.

Los estambres del *Berberis* y *Mahonia*, arqueados hacia afuera en el estado de reposo, se enderezan y encorvan hacia el interior, hasta posarse las anteras sobre el estigma, con sólo tocar suavemente la base de la cara interna del filamento. Los estambres de varias compuestas (*Carduus*, *Centaurea*, *Cichorium*) nos ofrecen fenómenos análogos, así como los de la *Sparmannia africana*.

Y respecto á los dos lóbulos estigmáticos del *Mimulus*, el más ligero contacto basta para que se aproximen y se reúnan sus caras internas repentinamente.

## II.—Movimientos debidos al crecimiento.

Estos movimientos, dependientes de variaciones de intensidad en el crecimiento de los órganos, comprenden las *curvas ó flexiones geotrópicas, fototrópicas, termotrópicas, hidrotropicas, etc.*, todas ellas provocadas por agentes exteriores provocados.

Tales movimientos, excepción hecha de la *nutación* (hiponástica, epinástica) y *circunnutación*, que admiten además causas internas, cesan de producirse en cuanto el órgano considerado ha llegado al término de su crecimiento, y son ocasionados sencillamente por *diferencias de velocidad de crecimiento*, y, por consiguiente, de turgescencia, en las diversas regiones del miembro considerado.

### III.—Movimientos debidos á la imbibición.

En esta última categoría de movimientos, la causa de los cambios de lugar en las plantas, está, no en la vitalidad de la planta, sino simplemente en variaciones de la masa de *agua de imbibición* en combinación con la estructura del órgano. Son, por tanto, puramente mecánicos.

Entre ellos citaremos la *dehiscencia* de las anteras, de los frutos secos ó carnosos (*Momordica Elaterium*) y de los diodangios (Helechos).

De la misma manera, en las plantas susceptibles de una desecación prolongada, *Isoetes* (Licopodíneas), Rosa de Jericó (*Anastatica hierochuntina*), se observan movimientos llamados de *reviviscencia*, cada vez que se realizan en sus tejidos nuevas saturaciones de agua.

La Rosa de Jericó crece en las áridas arenas de Egipto y Asia Menor. Sus ramos numerosos, cuando se hallan secos, se apiñan, repliegan y entrecruzan apretados, y forman una masa redondeada que el viento traslada á veces á grandes distancias. En aire húmedo se enderezan y se abren de nuevo.

La planta puede servir de higrómetro por esta razón.

## CAPITULO II

IRRITABILIDAD DEL PROTOPLASMA—ESTIMULANTES CÓSMICOS,  
FÍSICO-QUÍMICOS Y MECÁNICOS—ACCIÓN REFLEJA

**Definición y concepto general sobre la irritabilidad.**—Se entiende por *irritabilidad* la especialísima facultad que tiene el protoplasma de reaccionar cuando sobre él actúan determinados excitantes.

*Estimulante ó excitante*, es toda modificación rápida ó lenta en las condiciones que constituye el medio ambiente; y *reacción* es el resultado de la excitación.

Ya dijimos (pág. 437) que la planta como el animal son irritables, es decir, impresionables por los estimulantes externos y capaces de reaccionar á estas excitaciones. Estas reacciones se hacen visibles á nuestros sentidos, no sólo *con variaciones de forma*, dando lugar á la adaptividad de la célula ó planta al medio externo (si la estimulación es gradual y constante), sino también á *cambios de estructura* (producidos principalmente por picaduras de insectos), y, sobre todo, con *movimientos de traslación*.

Cuando una célula está colocada en un medio cuya energía es diferente de la suya, *absorbe* la energía del mundo exterior, la *transmite* y *transforma* en su masa, y, por fin, la restituye en una ú otra forma, obedeciendo á la gran ley de la *conservación de la energía*.

Según esto, los organismos guardan una analogía perfecta con los fenómenos naturales; pues tanto en unos como en otros, observamos á cada momento el cambio, trueque ó mutación de fuerzas vivas (energías actuales) en fuerzas de tensión (energías potenciales), y viceversa.

**Propiedades particulares.**—La irritabilidad del protoplasma es una propiedad fisiológica estrechamente ligada á la gran inestabilidad del protoplasma, y sus caracteres particulares son: 1.º Que estimulantes variados producen una reacción idéntica siempre que actúen sobre el mismo órgano. Y 2.º Que

una excitación idéntica produce reacciones diversas sobre órganos diferentes.

**Propiedad fundamental.**—Consiste ésta, no sólo en la particularidad de reaccionar bajo la influencia de un estímulo dado, sino principalmente en la desproporción que se observa entre la intensidad del estímulo y la cantidad de energía que despliega y pone de manifiesto la materia viva como consecuencia de la excitación. Según esto, la reacción no es proporcional á la excitación; es más: en los seres organizados una excitación débil (elevación de temperatura á  $\frac{1}{200}$  grados según Mendelsohn) es capaz de producir un efecto brutal, violento, del mismo modo que el más pequeño rozamiento es capaz de provocar la explosión de un cartucho de dinamita.

He aquí por qué la propiedad fundamental de la irritabilidad descansa en que á una *excitación pequeñísima* corresponde una reacción *relativamente considerable*; y el que no podamos observar algunas veces la causa estimulante, y admiremos, en cambio, los efectos de la excitación. Así, por ejemplo (véase pág. 13), el estímulo débil sobre la hinchazón motora del peciolo de la sensitiva, ó la excitación momentánea de una radiación luminosa unilateral en la región terminal de un tallo en vías de crecimiento, representan poca cosa como potencias, comparado con el esfuerzo que directamente hubiéramos de hacer sobre las plantas citadas para efectuar el descenso completo de la hoja en el primer caso, así como para realizar la flexión fototrópica en el segundo.

Del mismo modo Verworn (1), experimentando con un aparato especial sobre el músculo gastrocnémico de la rana, demostró igualmente que la cantidad de energía puesta de manifiesto por dicho músculo en la reacción, era *diez* veces mayor que la intensidad del estímulo.

Esta propiedad general de la materia viva de acumular en sí grandes cantidades de energía bajo forma potencial, fué magistralmente demostrada por Claudio Bernard (2) en sus célebres experimentos acerca de la irritabilidad de los tejidos.

Según esto, tanto los animales como los vegetales acumulan

(1) M. Verworn, *Fisiología general*, pág. 259.

(2) Claudio Bernard, *Leçons sur les propriétés des tissus vivants*: Paris, 18...



fuerza potencial, y la única diferencia que contrapone la planta al animal, presentándolo como mecanismo reductor y sintético, y, por tanto, transformador de las fuerzas vivas en fuerzas de tensión, reside en la obra de la clorofila y de otras materias colorantes (bacterio-purpurina) que, preponderantes en su función asimilativa de anhídrido carbónico, obscurecen las destrucciones peculiares al trabajo vital.

Algunos comparan esta propiedad de acumular energía la materia viva con los productos endotérmicos, como la nitro-bencina y nitroglicerina, pues basta el más pequeño estímulo para que se transforme en fuerza viva toda la energía potencial que aquéllos encierran.

Esta comparación, sin embargo, lleva consigo una enorme diferencia, pues mientras en los explosivos la transformación es brutal y repentina, en la materia viva, además de especializar su acción en un sentido determinado, la transformación de energía se ejerce paulatina, gradual ó por descargas parciales y sucesivas. Por esto, debe imaginarse la materia viva, como dice muy bien Carracido, á un explosivo manso que con tasa y medida, excitado por los estímulos incidentes, á la manera de la dinamita por el fulminante, produce pequeñísimas y continuas explosiones mantenedoras de los trabajos peculiares al proceso metabólico de la vida.

**Propagación.**—La excitación se propaga á partir del punto estimulado sobre una extensión del órgano variable según la planta. Así, los cotiledones del embrión de la avena, sometidos á una radiación luminosa unilateral, en una cámara oscura, comienza su inflexión en la región terminal, y se propaga acentuándose hacia la base del órgano. Del mismo modo es suficiente el más ligero contacto sobre un foliolo de la hoja de una sensitiva, para provocar su movimiento ascendente y progresivamente el de los demás, hasta la extremidad del peciolo correspondiente.

**Agentes ó causas estimulantes.**—Hay *excitación ó estimulación* en el protoplasma, y, por tanto, *reacción ó acción refleja*, siempre que sobrevenga un cambio en la composición del medio ambiente ó en la intensidad de las fuerzas que actúan sobre la planta.

Los estímulos sobre el organismo pueden producir acentuación, atenuación y aun paralización de actividad; y según su

naturaleza, se dividen en tres órdenes: *cósmicos*, *físico-químicos* y *mecánicos*.

1. **Cósmicos.**—Entre estos excitantes, consideraremos separadamente la *pesantez*, *luz*, *calor* y *electricidad*.

*Pesantez.*—La pesantez obra sobre todos los seres unicelulares, dando lugar á los fenómenos geotácticos, positivos y negativos, estudiados anteriormente (véase pág. 269), y en los seres pluricelulares cuyos órganos están en vía de crecimiento,

originando las flexiones geotrópicas, ya positivas (raíz), ó negativas (tallo).

*Luz.*—La acción excitante de la luz se manifiesta ostensiblemente en los organismos dotados de locomoción total, dando lugar á *movimientos de traslación* y también á *orientaciones* diversas.

Las zoosporas de diversas algas (*Monostroma*, *Ulothrix*, *Ædogonium*, etc.) (fig. 212), se *orientan* hacia la

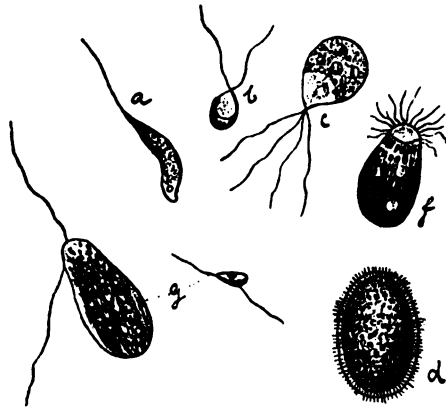


Fig. 212.—Tipos de zoosporas.—*a*, de *Physarum* (Mixomiceto); *b*, de *Monostroma* (la porción oscura es la parte verde y punto rojo, y la clara el pico blanco); *c*, de *Ulothrix*; *d*, de *Ædogonium*; *f*, de *Vaucheria*.

Gametos ciliados desiguales.—*g*, de *Cutleria*: el de la izquierda femenino; el más pequeño de la derecha masculino.

luz difusa incidente, y girando después sobre sí mismas, se trasladan hasta acumularse en la pared del recipiente de cristal más próxima al agente luminoso. Mas si oscurecemos parcialmente esta pared por medio de un papel negro, las zoosporas huyen en busca de la luz. Estas algas reciben el nombre de *fotófilas*.

Los gametos móviles de las Criptógamas (fig. 213), y especialmente los anterozoides (véase figs. 75, 76 y 77), se comportan ó conducen del mismo modo. En la obscuridad se mueven irregularmente en busca de la luz sin orientación ni rumbo fijo.

Si la intensidad de la luz pasa de ciertos límites, los movimientos se paralizan, y, finalmente, caminan en sentido contrario. Esto ocurre en los anterozoides de algunas algas (*Fucus*), y lo mismo en las *Euglenas*.

Y por último, deben referirse al mismo agente los movimientos oscilatorios que ejecutan las *Oscilarias*, y principalmente los fenómenos fototácticos de las *Closterias* (véase página 292).

En general, todos los seres que reaccionan en presencia de todo incidente luminoso y se orientan y se dirigen hacia el manantial de luz (*Closterium*, *Volvox*, *Oscillaria*), reciben el nombre de *fotofilos*. Aquellos otros (zoosporas de *Vaucheria*) que no actúan en ningún sentido á las variaciones luminosas, se denominan *afototácticas*. Y por último, las especies que huyen de la luz, *foto-fobas*.

No debe olvidarse que una misma célula (anterozoides de *Fucus*, *Euglena*), según la intensidad de luz, pueden ser fotofilas ó foto-fobas.

Las radiaciones más refrangibles, es decir, las azules y violetas, son las que más activamente contribuyen á que se realicen los fenómenos indicados. Los experimentos pueden hacerse valiéndonos de campanas de cristal mono-cromáticas ó de disoluciones coloreadas. Y para observar el movimiento de las zoosporas y los gametos, empléase con preferencia el objetivo micro-espectroscópico de Engelmann (véase pág. 119).

Así, por ejemplo, si observamos los movimientos de los micro-organismos, bajo la acción de radiaciones luminosas que han atravesado campanas de color rojo ó disoluciones de bicromato de potasio, se nota que la intensidad de ellos es análoga á la que ejecutan en la obscuridad; mas si el experimento se hace con luz blanca ó con luces mono-cromáti-

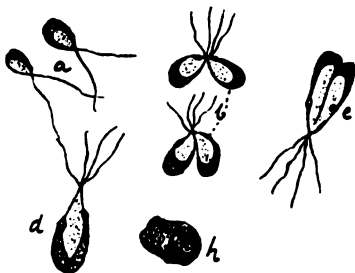


Fig. 213.—Gametos de *Monostruma bullosum*.—a, gametos ciliados semejantes; b, su fusión pico con pico; c, fusión longitudinal; d, fusión completa; b, huevo.

cas azules ó violadas, entonces la actividad motil llega á su apogeo.

Gracias al fototactismo, las plantas dotadas de locomoción pueden, con movimientos convenientes, utilizar completamente para su nutrición la cantidad de luz necesaria; ó por el contrario, evitar la acción perjudicial que pudieran ocasionar radiaciones luminosas demasiado intensas.

Por fin, indicaremos, para terminar, que la luz ejerce influencia en los movimientos de los cloroplastos (véase página 110); que su participación es principalísima en la síntesis de los hidratos de carbono (pág. 117), y, por último, que radiaciones luminosas unilaterales sobre órganos en vía de crecimiento, producen curvas ó flexiones fototrópicas positivas ó negativas (véase pág. 290).

*Calor.*—De la acción térmica y de sus efectos sobre las células, poco podemos añadir á lo expuesto en el capítulo de la radiación (véase pág. 279).

Las células son sensibles á las variaciones de temperatura, y, por tanto, están dotadas de *termotactismo*.

La excitación de los protoplasmas por el calor, se traduce por variaciones de velocidad en el movimiento; y si la radiación térmica es unilateral y actúa desigualmente sobre los órganos pluricelulares en vía de crecimiento, produce curvas termotrópicas positivas ó negativas, según que se dirigen hacia el manantial calorífico ó en sentido opuesto.

La actividad que despierta el calor sobre las plantas, se puede demostrar en las semillas y levaduras. Mantenido á baja temperatura tanto unas como otras, no presentan fenómeno de desarrollo alguno; éste, en cambio, se manifiesta ostensiblemente en cuanto se inicia el aumento de temperatura.

Más todavía: sin calor no hay señales de formación de hidratos de carbono, y en una palabra, es tan esencial la condición térmica en los organismos, que no es posible la vida de los seres sin que absorban cierta intensidad de radiaciones caloríficas.

Para estudiar la marcha de los movimientos en las células libres y las variaciones que presentan con los cambios de temperatura, Max Schultze ha ideado un aparato que puede adaptarse á la platina de un microscopio. Consiste (fig. 214) en una lámina encorvada en forma de U, más ancha en la porción

central que en las laterales, y provista en ella de un diafragma que lleva un pequeño termómetro. Para usar este aparato, una vez ajustado á la platina, se colocan dos lámparas de alcohol encendidas en los extremos de las dos ramas, y el calor se transmite lentamente por estas porciones laterales á la porción central. Las células vivas objeto de estudio, se colocan sobre la lámina, y pueden sufrir así la acción de la temperatura, que únicamente por tanteos puede determinarse. Y decimos por tanteos, porque el termómetro de la porción central indica la temperatura dentro del aparato, y no la de la preparación,

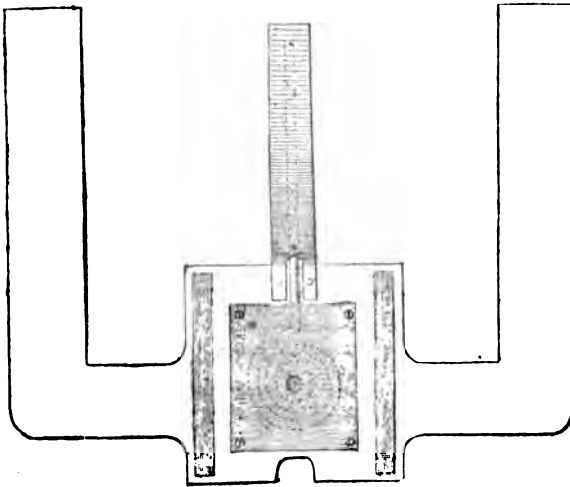


Fig. 214.—Aparato de M. Schultze para observaciones térmicas.

que siempre será menor por estar en comunicación con la atmósfera.

Este aparato térmico, así como la cámara de cristal adoptada por Pfeffer, y la metálica de Ranvier por donde circula agua caliente, tienen el inconveniente de que no se sabe á punto fijo la temperatura á que se halla sometida la preparación, pues hallándose ésta bañada por capas de aire continuamente renovadas, sufre grandes alternativas de calor; y aun cuando Zeiss construye cajas de madera con el fondo metálico, que abarcan la casi totalidad del microscopio por donde circula aire caliente, y otros, como Ranvier, sumergen directamente en agua.

dicho instrumento, es difícil evitar en ambos casos que estos medios tan calientes no estropeen el microscopio, y lo que es más doloroso, las lentes del objetivo.

Los fenómenos vitales responden con variaciones de intensidad á las variaciones térmicas, pero siempre dentro de ciertos límites, pasados los cuales el movimiento protoplásmico se detiene y la vida cesa. Existe, pues, un *máximum* y un *mínimum* de temperatura, entre los cuales es posible la vida del protoplasma, que son variables según las especies, como variable es el *óptimum*, temperatura próxima al *máximum*, y con cuya influencia realiza el protoplasma sus funciones en las mejores condiciones de vida.

Hay veces que acompañan á las radiaciones térmicas, agentes ó estímulos que perjudican la vida del sér en determinadas plantas. Así, en una atmósfera húmeda y temperatura de 40°, la Sensitiva, al cabo de una hora, cesa de reaccionar á los estímulos mecánicos, sucediendo lo mismo á temperaturas inferiores á 15°. De lo cual se infiere que en los dos casos, los cojinetes motores, embebidos de humedad, parece como si estuvieran influenciados por anestésicos.

*Electricidad.*—La acción de la electricidad sobre las plantas, es relativamente poco conocida. Sin embargo, desde el punto de vista fisiológico, es interesante el hecho de que las corrientes constantes y las de inducción, tienen marcada influencia sobre los movimientos protoplásmicos, pues obrando lentamente, paralizan y detienen los movimientos y hasta pueden determinar ú ocasionar la muerte de las células.

Para evidenciar el fenómeno, se emplean los pelos de la calabaza ó las células de los pelos estaminales de la *Tradescantia*, colocándolos en una gota de agua sobre el porta-objetos que representa la figura 215, y recubiertos de su laminilla cubre-objetos respectiva.

Estos porta-objetos Fromman (aludiendo al nombre del inventor) consisten en una lámina de vidrio *V*, en el cual se fijan á derecha é izquierda dos láminas de latón *M* por medio de una disolución de asfalto en esencia de trementina. Cada una de estas láminas de latón lleva soldada en su borde externo un borne *T* para sujetar las extremidades de los hilos ó reóforos del aparato de inducción, y en el interno, una laminilla de papel de estaño *E* pegado al vidrio y á la lámina de latón por

medio de la disolución anterior ó de sindetikón. Entre dichas láminas queda, como es consiguiente, el espacio libre y necesario para depositar la gota de agua que contiene el objeto por examinar.

Este procedimiento permite observar al microscopio con todo detalle, la acción que las corrientes ejercen sobre las células. Para regularizar la acción de estas corrientes, se emplean frecuentemente los aparatos de inducción que los mecánicos fabrican para los usos médicos.

Ahora bien: cuando se somete un cuerpo protoplásmico á la acción de una corriente eléctrica de inducción, si ésta es débil, el protoplasma reacciona en el sentido de acelerar sus movimientos; pero si la corriente es más intensa, entonces los movimientos del protoplasma se detienen y éste toma una forma

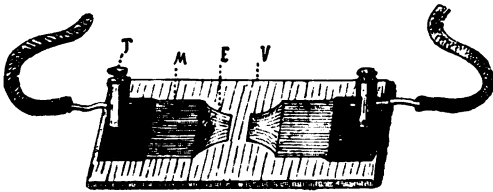


Fig. 215.—Porta-objetos para experimentar la acción de la corriente eléctrica sobre las células vegetales.

esférica, resultando su substancia opaca y gruesa. Los protoplasmas de las células vegetales presentan en estas circunstancias igual fenómeno, apareciendo los filetes ó cordones protoplásmicos que corren direcciones diversas de la célula, llenos de pequeñas esferas opacas de protoplasma (fig. 216). Si la corriente de inducción es todavía más intensa, el cuerpo protoplásmico, después de adoptar la forma esférica, sufre un movimiento de descomposición de su masa que lo destruye por completo.

En suma: bien por motilidad directa del protoplasma, bien y más generalmente por modificaciones sobre el crecimiento de los órganos, juzgamos el grado de excitabilidad ó irritabilidad que los estimulantes cósmicos ejercen sobre las plantas.

**2. Excitantes físico-químicos.**—De todas las causas estimulantes de la materia viva, ningún grupo tan numeroso y variado como los excitantes físico-químicos.

Estos agentes, susceptibles de actuar física ó químicamente sobre las plantas, deben ser empleados en soluciones muy diluídas, aun á riesgo de perjudicar á los vegetales, porque la

molécula protoplásmica, compleja de suyo y en un estado de equilibrio químico favorable para reaccionar con todos los elementos que le rodean, es materia muy abonada para todas estas combinaciones diversas.

Entre estos excitantes, unos son *motores*, porque causan aceleración en los movimientos; otros *paralizantes*, provocadores de la imbibición del órgano; y por fin, *mixtos*, pues graduando su concentración, consíguese á voluntad producir los dos efectos á la vez.

Ahora bien: para evidenciar estos fenómenos con ejemplos, daremos cuenta de algunas curiosas observaciones que Pfeffer



Fig. 216.—Células de *Tradescantia virginica* —A, su estado normal; B, excitada por una corriente eléctrica: el protoplasma se dispone en pequeñas esferas a, b, c y d.

(1) ha reunido sobre los movimientos de atracción y repulsión que manifiestan muchas bacterias, anterozoides de

(1) W. Pfeffer, *Ueber chemotactische Bewegungen von Bacterien, Flagellaten und Volvocineen*; Tübingen, 1886,



algas y otros micro-organismos, y de aquéllas que Belzung (1) parece indicar particularmente.

*Excitantes de anterozoides, zoosporas, etc.*—Ciertos excitantes químicos, esparcidos desigualmente en el agua en que vegetan organismos libres y móviles, provocan en éstos un movimiento hacia los sitios de mayor concentración, siempre que no pase de cierto límite.

Si el estimulante es el *ácido málico* ó un *malato* en disolución muy diluída (de 0,01 por 100 á 0,1 por 100), basta sumergir en cualquier cultivo la punta abierta de un tubo capilar previamente lleno del reactivo precitado, para que los gametos anterozoides de los Helechos y Selaginellas se dirijan y avancen más ó menos bruscamente en busca de dicho producto químico.

Según esto, los anterozoides de los Helechos pueden servir de excelente reactivo para determinar la presencia ó ausencia del ácido málico en un tejido.

Otros excitantes tienen influencia sobre determinados micro-organismos. Así, por ejemplo, la *sacarosa* sirve de estímulo para los anterozoides de los Musgos, y el *extracto de carne* para los zoosporas de las Saprolegnias.

Verosímil es, en vista de estos hechos, que atracciones de este género sean ejercidas sobre los anterozoides antes de la formación de los huevos, y que, en su consecuencia, las sustancias mucilaginosas que envuelven á las oosferas ó gametos femeninos inmóviles de las algas y hongos, puedan contribuir á asegurar la fusión de los gametos, y, por tanto, la fecundación de estas plantas. Idéntico papel fisiológico, según esto, pudiera desempeñar el mucílago que bordea el cuello del arquegonio (órgano femenino) de las Criptógamas vasculares y Muscíneas.

Más aún: se puede dificultar y hasta detener ó paralizar el movimiento de atracción que sufren los anterozoides y zoosporas, sirviéndonos de concentraciones diversas en las soluciones de las sustancias químicas; y si el grado de concentración fuera excesivo, pudiéramos llegar al efecto contrario, es decir, á la repulsión de los micro-organismos. Estos fenómenos tan notables parecen ser ocasionados por la

(1) Belzung, *Anatomie et physiologie vegetales*: Paris, 1900.

gran exósmosis de agua de parte de estos corpúsculos móviles.

En cambio, si la solución de la substancia estimulante se halla uniformemente separada en el cultivo de los microorganismos, éstos no dejan de manifestar movimientos determinados, pero siempre sin orientación ni rumbo fijo.

*Excitantes de la Drosera.*—Dice Belzung que sumergidos en agua destilada los denominados tentáculos digestivos de la hoja del Rocío del sol (*Drosera rotundifolia*), se recurvan activamente, más todavía con el aumento de temperatura, la que puede elevarse sin inconveniente alguno á 50°. En el aire, por el contrario, son insensibles á las variaciones térmicas.

Tampoco se produce reacción alguna tentacular, aun cuando se favorezca la acción con el aumento de temperatura, sirviéndonos del agua de los manantiales minerales. Sin embargo, bastaría hervir el agua que lleve en disolución el carbonato ácido de cal, para que, depositándose el carbonato neutro, se provocaran los movimientos de los pelos foliares del mismo modo que en el agua destilada.

Análogamente al carbonato ácido de cal, obran como estímulos el fosfato, nitrato y acetato de calcio.

Resulta, en suma, que las *sales de calcio* ejercen, como los anestésicos, una acción paralizante sobre los pelos tentaculares de la *Drosera*; y he aquí por qué esta planta vegeta sólo en terrenos charcosos y cenagosos ricos en sílice y totalmente desprovistos de sales calizas, como sucede en la Sierra de Guadarrama (Escorial).

Pero de todos los excitantes que pudieran emplearse para observar los movimientos en los pelos de las *Droseras*, ninguno en absoluto ejerce tanta influencia como el *fosfato de amonio*; pues son de tal naturaleza los efectos que produce, que con él pudiéramos combatir la acción paralizante de las sales de calcio. Conviene advertir, sin embargo, que el efecto de tan sorprendente reactivo es nulo é impotente para provocar en los tentáculos nuevas curvaturas, si las sales de calcio, principalmente el nitrato ó acetato de calcio al  $\frac{1}{500}$ , actúan por espacio de veinticuatro horas, pues pasado este tiempo adquieren dichos pelos una rigidez extremada.

*Acción del nitrato potásico sobre los artejos motores.*—Ac-

ciones anestésicas semejantes á las observadas en las Drose-ras, pueden practicarse sobre las hinchazones motoras de las hojas compuestas de algunas plantas.

Así, por ejemplo, secciones microtómicas de los artejos motores de las judías sumergidos en agua, pierden su turgencia á consecuencia de la exósmosis de los principios en ellos contenidos. Y es suficiente que añadamos al líquido pequeñas proporciones de *nitro*, para que dicho fenómeno físico cese. En cambio, no se oponen á la corriente exosmótica las soluciones de azúcar.

Vemos, por consiguiente, dos substancias (nitro y azúcar), que por su carácter físico, ambas delicuescentes y absorbentes, debieran concurrir al mismo fin, y, sin embargo, obran de distinto modo; de donde resulta que no es la causa única del fenómeno precipitado la exósmosis del agua y substancias disueltas, sino más bien, en el caso del nitrato potásico, una especie de paralización ó de impermeabilidad previa del protoplasma que se opone á la disminución de la turgencia en presencia del agua, aun cuando continúe la acción de ésta algunas horas.

*Acción de las sales potásicas sobre la Spirogyra.*—La irritabilidad que producen estas sales sobre las células de la *Spirogyra* es tal, que aun cuando se hallen en presencia de la luz y del anhídrido carbónico, no elaboran los cloroplastos más almidón, y viven únicamente á expensas de las reservas amiláceas contenidas en éstos.

*Acción del oxígeno.*—Que el oxígeno es uno de los estímulos que provoca movimientos de atracción sobre gran número de células libres, conocidísimo es en alto grado. Basta recordar que es el elemento por excelencia, mediante el cual (respiración) crean los vegetales la energía necesaria para su vida; y ante tan sólido argumento, es lógico que todas las bacterias aerobias se dirijan libremente hacia dicho manantial, agrupándose á su alrededor, como pudimos observarlo en el experimento que sirvió de base para demostrar la descomposición del anhídrido carbónico por los cloroplastos (véase págs. 119 y 120).

El oxígeno en estado puro y á partir de cierta presión, es un veneno que puede provocar la rigidez de los órganos. Así, por ejemplo, si hacemos que actúe durante hora y media oxígeno

puro á la presión ordinaria sobre los estambres del *Berberis vulgaris* (agracejo), observaremos que no son sensibles á los contactos. Esta excitabilidad perdida pueden recobrarla en presencia del aire.

*Acción de los anestésicos.*—Los efectos de estas substancias sobre los animales y vegetales, han sido admirablemente estudiados por Claudio Bernard (i). Se sabe que los narcóticos ó anestésicos, como el éter, cloroformo, alcohol, hidrato de cloral, y buen número de alcaloides, como la morfina, veratrina, digitalina, etc., empleados en dosis prudenciales, no tienen acción sensible sobre la respiración, y, en cambio, paralizan el funcionamiento de los centros nerviosos en los animales, así como amortiguan y suprimen en los vegetales la asimilación clorofílica. Pues bien: estos mismos reactivos actúan sobre el protoplasma, suprimiendo la nota más característica de la materia viva, ó sea la excitabilidad ó irritabilidad.

Una Sensitiva, sirva de ejemplo, colocada bajo una campana de vidrio en presencia de una esponja empapada de cloroformo, adquiere poco á poco la rigidez en todos sus miembros.

En un principio, y como si estuviera colocada bajo la acción de cambios extremos de temperatura, cesa por de pronto de reaccionar á los contactos, pero sigue obedeciendo á las variaciones luminosas, es decir, que cierra sus hojuelas por la noche y las abre de nuevo por el día; mas si continúa la acción, se paralizan entonces los movimientos antedichos, llamados de *sueño y vigilia*, así como los espontáneos.

El retorno de la planta á su vida ordinaria restablece paulatinamente su excitabilidad, á menos que la anestesia no haya sido muy prolongada.

Si en un depósito que contenga agua y azúcar, se colocan células del vegetal anaerobio *Saccharomyces cerevisiæ*, se produce la fermentación alcohólica mediante la actividad del sér y el fermento *alcoholasa*. Pero si agregamos al líquido en fermentación unas gotas de cloroformo, pronto se detiene ésta, suspendiéndose, por tanto, la salida de burbujas de anhídrido carbónico. La fermentación vuelve á manifestarse una vez evaporado el anestésico.

(i) C. Bernard, *Leçons sur les phénomènes de la vie commune aux animaux et aux végétaux*: París, 1878.

Del mismo modo pudiéramos suprimir los fenómenos de germinación en las semillas por medio de sustancias anestésicas. Para ello, y siguiendo á Claudio Bernard, colocaríamos en dos recipientes de cristal semillas de una misma especie, sobre esponjas empapadas de agua, sometiendo las de un tubo á la acción de los vapores de cloroformo, y las otras á las del

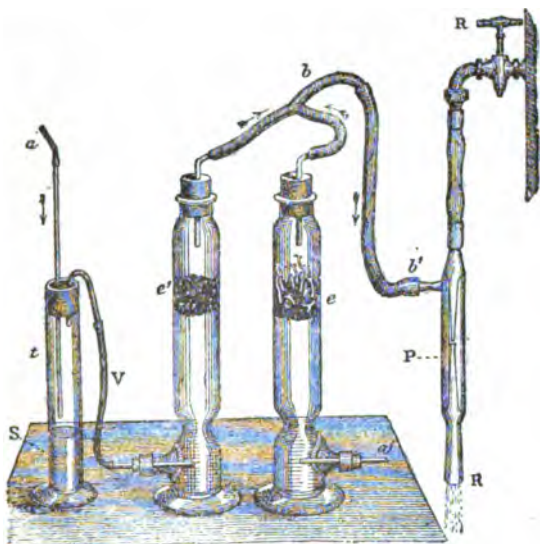


Fig. 217. — Aparato para demostrar la diferencia de la germinación de las semillas en estado normal y sujetas á la acción de un anestésico. — Probeta *t* con cloroformo *S*, en la cual penetra el aire por el tubito *a*; *V*, tubo de caucho que conduce el aire cloroformizado en el recipiente cilíndrico de cristal *e'*, dentro del cual se hallan las semillas convenientemente dispuestas en una esponja humedecida; *a'*, tubito por donde penetra aire puro en el otro recipiente de cristal *e*, dentro del cual se ha colocado del mismo modo otra esponja humedecida con idénticas semillas, únicas que germinan; *bb'*, tubos de caucho por donde se dirige la atmósfera contenida en los dos recipientes á la trampa de agua ó de aspiración *P*, fijada en el grifo de una fuente *R*.

aire puro, según indica el adjunto grabado (fig. 217). La germinación de las semillas que han estado sometidas á la acción del anestésico, no presentan la menor traza de desarrollo.

**3. Excitantes mecánicos.**—El efecto de los choques, presiones, picaduras, etc., sobre el protoplasma, ha sido precedentemente estudiado y puesto de manifiesto en la sensitiva,

éstambres del *Berberis*, lóbulos estigmáticos del *Mimulus*, etc.

Añadamos únicamente que la excitabilidad mecánica del protoplasma puede probarse directamente con el examen microscópico de un corte, en plantas donde la circulación protoplásmica es muy activa.

Así, por ejemplo, si en un tallo de *Tradescantia* hacemos un corte en fresco y se examina al microscopio, observaremos que las masas protoplásmicas celulares están en reposo; pero algunos minutos después, el movimiento circulatorio aparece. Si seguidamente practicamos una segunda sección contigua á la precedente, extraña de pronto que en este nuevo corte se observe con claridad la circulación protoplásmica. Lo cual indica que el movimiento del protoplasma no preexistía en el órgano en reposo, al menos de un modo sensible, y, por consiguiente, fué provocado por la sección primera practicada.

**Acción refleja en las plantas.**—De todo lo que antecede, como dice muy bien Belzung, se debe concluir: que las plantas son asiento en grados muy diversos de verdaderas acciones reflejas; es decir, que ellas ejecutan movimientos, como consecuencia de impresiones, de una manera automática.

Aun sustituyendo la palabra *sensibilidad* por la de *irritabilidad*, no se puede afirmar (véase pág. 13) que las impresiones ejercidas sobre las plantas por los agentes externos en el caso de una reacción inmediata y profunda, sean acompañadas de una elaboración sensorial ó de un rudimento de percepción, como es el caso de las bacterias, zoosporas y sensitiva, pues hemos visto reaccionan con regularidad automática bajo excitantes diversos; y sí puede admitirse en los animalillos, aun los más sencillos (*Infusorios*, *Pólipos*), á causa de la modalidad de los movimientos.

En suma: las reacciones motiles de las plantas se verifican con regularidad automática, como repercusiones de las excitaciones recibidas, de modo que son enteramente inconscientes á pesar de la creencia en contrario que tienen algunos autores.

## PARTE TERCERA

### CITOGÉNESIS Ó NEOFORMACIÓN CELULAR

#### SECCION PRIMERA

##### SEGMENTACIÓN Ó MULTIPLICACIÓN CELULAR

#### CAPITULO PRIMERO

##### TIPOS DE FORMACIÓN CELULAR—SEGMENTACIÓN

##### Ó MULTIPLICACIÓN CELULAR: CONCEPTO Y MODOS DIVERSOS DE SEGMENTACIÓN Ó DIVISIÓN CELULAR; DIVISIÓN DIRECTA É INDIRECTA

Dos significados tiene hoy día la palabra *citogénesis*, derivada del griego.

Con uno de ellos expresamos la etimología exacta de la palabra, es decir, *origen de la célula*, ó lo que es lo mismo, del protoplasma respectivo. Este importantísimo problema, estrechamente ligado con el origen de la vida, está aún por resolver, pues las hipótesis ideadas para aclarar el asunto, no han hecho más que enmarañarlo, y sumidos desgraciadamente en la ignorancia más supina, descansamos todavía con el enigma en el pasado más remoto. Por esto la ciencia, en un todo conforme con el axioma substancialmente formulado en 1825 por Raspail, se limita á contestar *omnis celula e celula*, es decir, toda célula procede de otra célula; todo protoplasma de otro protoplasma anterior, el núcleo de otro núcleo preexistente; ó en otros términos, ni el protoplasma ni el núcleo nacen, si vale la frase: sólo continúan en el transcurso de los siglos.

No sucede lo mismo con el otro significado, que lleva el

nómbre de *neoformación celular*, ó sea el modo de formarse las distintas células que constituyen un sér, y también el modo de originarse la célula primordial, célula-huevo ó célula-madre de la planta; pues si bien el proceso de la división celular ofrece aún algunos puntos oscuros, y la conjugación ó fecundación guarda también numerosos secretos que las investigaciones futuras no tardarán seguramente en descubrir, es lo cierto que, gracias á los modernos estudios de biología celular, se ha descornado en parte el velo que ocultaba, tanto al proceso de la división ó multiplicación celular, como al acto más misterioso de la conjugación, y con claridad meridiana es comprendida la finalidad de ambos fenómenos, que pueden ser explicados y observados.

**Definición.**—La *citogénesis vegetal*, según esto, se define diciendo que es la parte de la citología que estudia «los diferentes procedimientos que siguen las células para originar á otras semejantes;» ó también, «el conjunto de procesos que en las células tienen lugar para formar otras nuevas.»

**Historia.**—Desde 1825, en que Raspail inició el axioma precitado (formulado en 1859 por Virchow), hasta 1841, no hay trabajo científico que llame la atención más que el de Remak, anunciando el proceso de la división celular en la sangre del pollo.

Después de él, los naturalistas Derbés, Quatrefages, Meisner, Gegembauer, etc., hacen sobre la división celular series de observaciones exactas, pero incompletas.

Schneider, en 1873, publica el primer estudio de conjunto sobre la división celular, y demuestra que dicha división va acompañada de modificaciones nucleares. Y lejos de desaparecer el núcleo de la célula, como creían Fol y Fleming en 1873, persiste en todas ellas, según Butschli nos dice en 1874; y en confirmación de ello, Strasburger, en 1875, manifiesta los aspectos sucesivos que el núcleo presenta en la división celular de muchos vegetales.

El mismo año, Hertwig demuestra que, en la fecundación, el núcleo de la oosfera se une al espermatozoide para dar el primer núcleo de segmentación.

Mayzel después observa la división celular en los Vertebrados; Ranvier indica la división directa; y Schleicher, en 1876, da el nombre de *carioquinesis* á la división celular indirecta.



Desde esta época los trabajos científicos se multiplican, y Flemming, Guignard, Henneqy, Strasburger, etc., convergen en sus observaciones diciendo: que la *división* constituye el solo procedimiento de reproducción de la célula, y que dicha división se presenta bajo dos formas: *directa é indirecta*.

Si á la conjugación ó fecundación nos referimos, empezando por Hertwig, que, como hemos dicho, demuestra en 1875 la unión del espermatozoide con el núcleo del huevo (mejor dicho oosfera) para dar el primer núcleo de segmentación; analizadas las investigaciones de Maupas en 1888 respecto á la «multiplicación de los infusorios ciliados,» y del mismo autor en 1889 sobre «la unión cariogámica de los mismos seres,» y, finalmente, los trabajos de Strasburger, Guignard, Hertwig, Boveri, Van Beneden, René Maire y otros muchos, se puede decir que la fecundación se conoce de una manera completa, aun cuando dichos trabajos se hayan realizado sobre corto número de especies animales y vegetales, y queden sobre el tapete algunos puntos oscuros que la ciencia no tardará en resolver.

**Tipos de formación celular.**—Dos son los únicos medios de propagación de las células: por *segmentación*, llamado también *multiplicación ó división*, y por *conjugación*.

Algunos autores agregan á éstos, el de *renovación ó rejuvenecimiento*; pero en realidad este procedimiento es más bien de disociación ó diseminación celular. En efecto: engendradas las células en el interior de otra por los medios que en breve estudiaremos, y á consecuencia de la gelificación ó rotura de la membrana envolvente, salen al exterior las células contenidas, bien para conjugarse con otras destacadas por idéntico procedimiento (gametos masculinos y femeninos), originando así un nuevo sér (huevo); bien para reproducir el vegetal si encuentran condiciones de medio favorables (esporas, zoosporas, etc.) De modo que aun cuando las células separadas de la planta madre, en el sentido indicado, lleven la finalidad de reproducir el vegetal de un modo análogo en algunos casos al procedimiento seguido artificialmente para multiplicar las plantas por estaca, esqueje, acodo, etc., no por eso han de confundirse fenómenos totalmente distintos, como son la *formación* de las células, cualquiera que sea el procedimiento empleado, con la salida de las mismas ó *renovación* celular.

Importantes consideraciones distinguen á los dos procedimientos de reproducción celular anteriormente indicados.

1.<sup>a</sup> La *segmentación* consiste en una división del individuo mediante la cual resultan otros dos iguales al primero, sin que haya distinción entre ellos de generador y engendrado; la célula madre desaparece como individuo, repartiéndose toda su substancia en dos corpúsculos hijos; no hay, de consiguiente, célula madre ni célula hija en el sentido estricto de los términos, sino fragmentación sucesiva de cierta cantidad de materia viva, que disminuirá hasta desaparecer á fuerza de dividirse, si la asimilación no restableciera pronto el volumen originario.

La *conjugación* se verifica por la fusión de dos células que se convierten en una distinta que reúne los caracteres de ambas: unión de dos células masculina y femenina, llamadas *gametos* en unos casos, y en otros anterozoide y oosfera, que dan origen á otra denominada *huevo*, con las propiedades por herencia de las dos sumadas, é importando poco, pues esto no afecta á la esencia del fenómeno, que procedan aquéllas de dos seres distintos, *unisexuales*, ó de uno solo, *hermafrodita*.

2.<sup>a</sup> La *segmentación* es el proceso general de las células para constituir tejidos filamentosos, laminares ó macizos; es también el proceder que ordinariamente emplean los vegetales para reponer las células destruídas en el ejercicio de las funciones orgánicas ó alteradas por heridas (cicatrización); es además el modo de multiplicar las superficies osmóticas y facilitar la diferenciación de las partes según la distribución del trabajo fisiológico, y es, por último, la base de la proliferación del embrión partiendo de las primeras divisiones del huevo.

La *conjugación* es el proceso generativo que podría calificarse de extraordinario, al cual recurre la naturaleza para producir la primera célula origen del embrión, denominada *óvulo fecundado* ó *huevo*, encerrando dentro de sí una profunda finalidad fisiológica, ya se refiera á la transmisión de las cualidades adquiridas procedentes de sus generadores, ya, finalmente, á la conservación del tipo específico y funcional de los seres. He aquí la razón de que el huevo adquiere los caracteres de padre y madre en virtud de la herencia, sólo por el acto de fusionarse en uno solo, los fragmentos cromáticos nucleares correspondientes á éstos.

3.<sup>a</sup> La *segmentación* se realiza en general dentro de una

proporción geométrica creciente, cuyo primer término es uno y la razón dos, dando lugar en muchos casos á un sinnúmero de células que, aunque limitado, no se puede fijar, ni en la formación de los granos de polen, esporas, zoosporas, anterozoides, etc., ni tampoco en la constitución ó fabricación de los tejidos.

La *conjugación*, por el contrario, sigue siempre una progresión geométrica decreciente, cuyo primer término y la razón es dos, finalizando la proporción en el segundo término.

4.ª En la *segmentación*, y en su caso mitótico ó carioquinético, no hay reducción de cromosomas ó fragmentos cromáticos del núcleo, y, por lo tanto, las células que origina conservan todos los caracteres estructurales y fisiológicos de los generadores; es decir, que la *herencia es unilateral y completa* en todas las células constitutivas del sér.

Antes de celebrarse la *conjugación*, se reducen siempre á la mitad el número de cromosomas ó fragmentos cromáticos, tanto en el núcleo del elemento masculino como femenino, en relación con el número de cromosomas, variable según las especies, en que los núcleos de las plantas se dividen por segmentación general. Así, por ejemplo, si suponemos que en un vegetal en proceso de segmentación se dividen los núcleos en veinticuatro fragmentos cromáticos (azucena), observaremos que en el acto preparatorio de la conjugación, y en el momento de originarse los dos núcleos, masculino y femenino, se reduce la fragmentación á la mitad, ó sea á *doce* para cada uno, siendo, como es natural, bastante más gruesos. Y como la fecundación consiste en la fusión nuclear de ambos elementos polares, con los doce fragmentos cada uno, resultará el núcleo ó célula *huevo* con veinticuatro fragmentos pertenecientes por mitad á macho y hembra; es decir, que la *herencia es bilateral y parcial*, pues llevan en parte los caracteres propios de padre y madre todas las células constitutivas del sér para propagar la especie.

En suma, y para terminar, la *segmentación* es el proceso genésico ó de formación de todas las células que constituyen los seres pluricelulares, para dar lugar, por diferenciación del trabajo fisiológico en todos ellos, á las *porciones somática ó nutritiva y reproductora*, resultando tanta mayor complicación cuanto más diferenciado se encuentra el aparato repro-

ductor; y la *conjugación* es el proceso genésico de una célula á expensas de dos, que aun cuando sola, con atributos tan significativos y peculiares, que no sólo en virtud de la herencia lleva los caracteres de padre y madre, sino además encierra y despliega grandiosa y fecundísima segmentación para dar origen á la complicación mayor ó menor del sér dentro del tipo específico, con el auxilio del alimento periférico suficiente, sin el cual toda formación neocelular ó citogenésica sería estéril ó nula.

Más aún: la célula como sér con vida independiente y propia, así como las células que forman parte de un organismo, es preciso reconocer que, en general, sólo se multiplican por segmentación, y recurren en casos extraordinarios, á la fecundación ó conjugación cuando aquélla se agota por exceso de tantas divisiones sucesivas, y siempre que los individuos hayan de asegurar la conservación del tipo específico á que corresponden. Lejos de haber en la conjugación verdadero aumento de células, hay, por el contrario, una reducción de ellas, resultando en definitiva que la producción del germen es debida á la conjugación, y su desenvolvimiento se halla encomendado, si ha de llegar al término de su evolución, en los seres pluricelulares, á la segmentación, sin la cual no habría seres vivientes más complicados que la célula.

#### SEGMENTACIÓN

Diferenciados los procedimientos de citogénesis ó neoformación celulares, bien por multiplicación ó segmentación (formación histogenésica de los seres pluricelulares), ya por conjugación (formación generativa ó específica), y antes de entrar en los procesos en virtud de los cuales se realiza la primera, vamos á concretar el concepto que debe tenerse de la división celular.

**Concepto de la división celular.**—La multiplicación celular, así como la conjugación, fenómenos fisiológicos ambos que radican en el núcleo, con el auxilio, como es natural, del citoplasma, deben considerarse como funciones inherentes á la actividad ó vitalidad de la célula.

Es verdad que dichos elementos celulares contribuyen tam-

bién al crecimiento celular (véase pág. 260): de aquí la creencia de algunos naturalistas de que la multiplicación sea consecuencia del crecimiento; pero convengamos en que una cosa es la reproducción celular, y otra muy distinta el crecimiento. En primer lugar, porque en la multiplicación la función más importante está consagrada al núcleo, del mismo modo que la asimilación del carbono la tienen encomendada los cloroplastos, y en el crecimiento el papel más esencial lo ejerce el protoplasma; en segundo, porque las células podrán desarrollarse más ó menos, tener mayor ó menor volumen dentro del límite que á cada una impone el funcionamiento respectivo, y, sin embargo, efectuarse la multiplicación de ellas en cualquiera fase del crecimiento celular.

Para demostrar con ejemplos que la multiplicación celular no es consecuencia del crecimiento, ni en ciertos casos de una asimilación activa, bastará recordar los siguientes, clasificados en tres grupos:

**α. Células que se multiplican terminado el crecimiento.**—En efecto: células hay, como las levaduras, que se multiplican interiormente, dando lugar á esporas en ausencia de todo alimento externo. Luego ni el crecimiento ni la asimilación activa contribuyen á la reproducción.

**αα. Células que se multiplican simultáneamente al crecimiento.**—Muchas otras células, denominadas pelos reproductores (dióangios, esporangios, tecas), tienen gran crecimiento, y todos sabemos que simultáneamente á éste se reproducen interiormente, originando células (esporas) que, por germinación en medios adecuados, multiplican la planta de que proceden.

**ααα. Células que se multiplican sin haber terminado el crecimiento.**—Es conocidísimo que las células de los meristemas asimilan mucho; pero como el aumento de sus protoplasmas está limitado por la resistencia que ofrecen los tabiques de las células contiguas, no llegan á sus crecimientos terminales, y, sin embargo, se multiplican activamente para conseguir el fin funcional que deben cumplir, cual es aumentar las superficies osmóticas, facilitando las diferenciaciones celulares que determina la división del trabajo fisiológico.

Más aún: para evidenciar la ofuscación de algunos autores respecto á que la multiplicación es consecuencia del crecimiento, nos vamos á servir de sus mismos argumentos.

Dice Branca (1), cuya opinión era y es aceptada por algunos naturalistas españoles, lo que sigue: «Consideremos con Spenser una célula cúbica al estado de equilibrio. Si esta célula crece y respectivamente su lado dobla la longitud, la superficie de la célula crece como el cuadrado de su lado, mientras que el volumen crece como el cubo. De aquí resultará un crecimiento desigual de la superficie y del volumen: el volumen crece más veloz que la superficie; *la célula almacena más que recibe*. Ella morirá si no responde á este crecimiento, ya con reducción de su masa (formación de vacuolas), ya aumentando su superficie (formación de prolongaciones), ya dividiéndose. Pues con la división (exógena debía añadir) se aumenta la superficie y disminuye la masa.»

Esta conclusión, muy verosímil por cierto, cae por su base, puesto que el principio en que se funda es erróneo.

En efecto: la relación que hay entre el volumen y la superficie de una célula, sea ésta cúbica ó esférica, es una ley geométrica que se cumple siempre, cualquiera que sea el tamaño de la célula; de modo que jamás puede romperse la armonía entre ambas dimensiones. El volumen aumenta en proporción á la superficie, y lejos de existir desproporción, si así continuara indefinidamente, puede asegurarse que la célula adquiriría el tamaño más considerable que nosotros podemos imaginar, y siempre almacenaría interiormente ni más ni menos de lo que recibe superficialmente.

Dos consecuencias surgen de lo anteriormente dicho:

1.<sup>a</sup> Supongamos que no hay límite en el equilibrio preciso que debe existir entre la superficie de la célula por la cual se verifica la absorción de las materias y el volumen de la misma. El resultado sería un concepto antibiológico, cual es negar la ley universalmente admitida de que todo sér viviente tiene un límite más ó menos variable, pero siempre contenido entre un máximo y un mínimo conocidos; y como esto no puede admitirse, es necesario suponer la siguiente conclusión:

2.<sup>a</sup> Que la célula tiene un límite en el crecimiento de su membrana; pues entonces una de dos: ó la célula almacena según lo que recibe y conserva el *statu quo* en el equilibrio (*Protococcus*), ó la célula rompe este equilibrio y absorbe más

(1) Branca, *Précis d'histologie*, 1906.

de lo que puede contener su membrana, en cuyo caso la presión interna ejercida contra ésta excede al límite de elasticidad de la membrana, y abriendo paso á través de ésta por gelificación ó liquefacción de algunas partes, se desparraman al exterior todas las substancias incluídas, como sucede en muchos casos de *renovación celular*, y principalmente para la salida de los anterozoides.

Después de lo dicho, no cabe duda que la multiplicación celular es un fenómeno fisiológico propio de la actividad celular, y cuyo funcionamiento radica principalmente en el núcleo, como vamos á ver.

**Modos de segmentación celular.**—La formación de células por *segmentación*, denominada también *multiplicación* ó *división celular*, se opera de dos maneras: *directa* é *indirecta*. La primera es llamada *amitósica*, porque se efectúa sin cambio estructural del núcleo; la segunda lleva además el nombre de *mitósica* ó *carioquinésica*, en razón á los cambios ó modificaciones estructurales que se observan en el núcleo.

Además de estas formas de segmentación y sin excluirse unas de otras, estudiaremos en las células vegetales las segmentaciones *igual* y *desigual*, *exógena* y *endógena*, *tabicada* y *no tabicada*.

**1. Segmentación ó división directa.**—Es el acto de partición celular no precedido de metamorfosis estructurales del núcleo ni del protoplasma.

Este proceso citogenésico, que recibe los nombres de *amitosis*, *división de Remak*, *holoschisis*, *cariostenosis* y *acinesis*, fué conocido antes que el mitósico y pierde cada día que pasa importancia y generalidad, pues se ha averiguado que muchos de los elementos á quienes se atribuía dicho procedimiento prolífico se multiplican por mitosis ó carioquinesis.

Sin embargo, la formación celular por división directa ó estrangulación exterior, es considerada por el Dr. Roberto Hartig (1) como un proceso de multiplicación propio de los vegetales inferiores, de los organismos elementales del protoplasma, y de los pequeños cuerpos organizados que se encuentran en el interior de las células (plasmitos), observán-

(1) Roberto Hartig, *Compendio de Anatomía y fisiología de las plantas*, traducido del alemán por D. Joaquín María Castellarnau: Madrid, 1906.

dose también dicho proceso, si bien rarísima vez, en las plantas superiores, como, por ejemplo, en los gonidios de las diversas especies del género *Nectria*, hongo parásito sobre los pinos, abetos, etc.

Autores hay que llegan á declarar que todos los hechos conocidos de división directa no representan otra cosa sino fases mitóticas mal interpretadas. No creemos, como dice muy bien Cajal, pueda llevarse el escepticismo á tal extremo, á menos de negar, sin motivo alguno, la legitimidad y realidad de las divisiones amitóticas de los plasmitos, de los leucocitos animales, y de los núcleos de algunas algas.

Este modo de reproducción, relativamente sencillo, se presenta en los seres organizados, según Branca, bajo dos aspectos: división por *estrangulamiento*, y división *laminar* ó de *crucero*.

**α. División por estrangulamiento.**—Se observa este procedimiento divisorio en los plasmitos vegetales, en el núcleo de las células que forman el *talo* de algunos hongos, y en los leucocitos animales.

En efecto: mirando atentamente los corpúsculos de una gota de linfa del *Axolote* (1), notamos que sus formas se modifican, pues sus porciones citoplásmicas se erizan de expansiones irregulares que se retraen, desaparecen y reaparecen sobre otros puntos de la superficie. El núcleo cambia igualmente de forma y presenta abultamientos irregulares y transitorios; después se estira, toma la forma de un bizcocho, llegando el estrechamiento y reducción á un punto que reúne los dos segmentos del núcleo, hasta que por fin se separan. El citoplasma comprendido entre los dos núcleos se adelgaza y estrangula cada vez más, y finalmente se rompe, congregándose las partes separadas alrededor de los dos núcleos originados.

En suma: la división por estrangulamiento comienza por el núcleo, y termina por el citoplasma.

Al principio de la división, la esfera atractiva estaba situada enfrente de la zona estrangulada del núcleo, y al final del proceso ocupa el espacio citoplásmico interpuesto entre los dos núcleos hijos; de donde resulta que no sólo es testigo dicha es-

(1) Es el estado larvario (*Siredon pisciformis*, Shaw), correspondiente al anfibio perennibranchio denominado *Amblystoma mexicanum*, Cope.



fera atractiva de la división, sino que también interviene en la división del núcleo y del citoplasma.

Sea como quiera, la *amitosis por estrangulamiento* es un fenómeno muy general, pues, según Branca, es el modo constante de la división de los macronúcleos en los infusorios ciliados (*Paramecium*).

Es constante también este proceso genésico en los plasmitos vegetales (cloroplasmitos, amiloplasmitos...), y muy frecuente además en el talo de diversos hongos, según Belzung. En algunas algas verdes (*Codium*), se pueden observar en la misma planta, y según los núcleos, los procesos *amitótico* y *mitótico*.

**az. División longitudinal, laminar ó de crucero.**—Así como en la división anterior todo pasa como si con una ligadura estranguláramos sucesivamente el núcleo y después el cuerpo celular, en la división por crucero (Lœwitt, von Rath, Bouin), una fisura delicadísima y linear aparece á lo largo de la superficie del núcleo, que, acentuándose más y más, termina por dividirlo en dos segmentos. Esta división del núcleo parece ir acompañada de algunas modificaciones en la cromatina nuclear, y por una excisión compleja del aparato nucleolar (célula de Sertoli).

Importa se advierta que en este fenómeno, observado únicamente en los animales, las fisuras manifestadas en la superficie del núcleo no son siempre indicio de una amitosis. Dichas fisuras, múltiples en la generalidad de los casos, están relacionadas, ó con fenómenos de nutrición muy activa, ó con la degeneración celular.

Ahora bien; las células hijas procedentes de una amitosis, ¿pueden vivir y reproducirse á su vez por vía indirecta ó mitótica? ¿Son las precursoras de la degeneración más ó menos tardía de los tejidos en que se hallan, y, por tanto, la amitosis es el sello ó decreto de muerte de los órganos en que se realiza? Preguntas son éstas que se tienen por resueltas con algunos argumentos que los hechos no han comprobado todavía.

Sin embargo, la significación degenerativa de la amitosis parece ser un hecho, si tenemos en cuenta que la formación de células por este procedimiento se efectúa casi siempre en elementos donde la función se realiza de un modo

transitorio (von Rath), ó sobre células viejas ó enfermas (1).

2. **División indirecta, mitótica ó carloquinética.**—Este proceso de partición celular, comunmente seguido por las células vegetales en sus reproducciones respectivas, se caracteriza, á diferencia del anterior, en que va siempre precedido de cambios estructurales en el núcleo y protoplasma. En esta división celular juega además importantísimo papel, según los trabajos de Strasburger (2) y de Guignard (3), un pequeño glóbulo que durante el reposo celular se halla situado junto al núcleo y que se conoce con el nombre de *centrosoma*, *esfera de atracción* ó *directrix* (véase pág. 255).

En la *carioquinesis*, de *καρυον* (*karyon*, núcleo), y *κίνησις* (*kinesis*, movimiento, cambio), hay tres etapas principales denominadas *profase*, *metafase* y *anafase*, que á su vez constan de diversos períodos carioquinésicos.

Para observar bien estas distintas fases, es indispensable elegir de las plantas órganos muy pequeños en los que las células constitutivas sean relativamente grandes. Por esto, para estudiar la mitosis que precede en las células madres á la formación de los granos de polen (anteras de *Lilium*, *Fritillaria*, *Hemerocallis*) y sacos embrionarios (*Paris*, *Monotropa*), se requiere que el tamaño de los botones florales destacados no exceda de un centímetro de longitud.

En general, todos los órganos en vías de crecimiento ofrecen ejemplos carioquinésicos más ó menos fáciles de delatar con la técnica de un operador experimentado.

No basta, sin embargo, escoger ó seleccionar los órganos; es de todo punto imprescindible, además, sorprender, con reactivos fijadores especiales, los cambios ó movimientos estructurales de los núcleos, y para ello es preciso recurrir á los

(1) Branca, *Precis d'histologie*, 1906.

(2) Strasburger, *Lehrbuch der Botanik für Hochschulen*, tercera edición: Jena, 1902, pág. 50; y también *Cytologische studien aus dem Bonner botanischen Institut. Jahrb. f. wiss. Bot.*, tomo XXX, 1897, pág. 155. En dichos trabajos comprueba la existencia del centrosoma en las talofitas y muscineas, y presumible es se halle también en las Criptógamas vasculares.

(3) Guignard, *An. d. Sc. nat. Bot.*, serie VII, tomo XLV, pág. 163; y también Zimmermann, *Die botanische Mikrotechnik*, § 34 a, en los cuales afirman la existencia del centrosoma en las Fanerógamas.

métodos que se emplean en técnica microscópica. Estos son dos principalmente: uno de ellos consiste en fijar las preparaciones con el alcohol absoluto, y colorear después con la zafranina, hematoxilina, ó el verde de metilo; ó como aconseja René Maire (1), usando fijadores acuosos (Flemming, picroformol).

La triple coloración de Flemming da frecuentemente excelentes resultados después de la fijación al picroformol, á condición de incluir previamente los cortes en el mordiente denominado *Chrombeize* GAI (Grübler).

El azul policrómico, preconizado por Guilliermond, colorea muy bien los núcleos después de la fijación al Flemming. Si la fijación se hace con el picroformol, se diferencian mal los elementos nucleares, y, en cambio, se colorean enérgicamente las granulaciones metacromáticas; resultados idénticos se obtienen con el azul de toluidina, recomendado por René Maire en 1898 para este objeto; pero es necesario diferenciar esta coloración obtenida como la del azul policrómico con el «*Glycerinae-thermischung*,» según el método de Unna.

Con la base de lo dicho, estudiemos en detalle las principales fases de la división carioquinésica.

A. En todo núcleo en reposo, el filamento nuclear forma un ovillo muy apretado (en la figura flojo para hacerlo más perceptible), que es difícil de colorear momentos antes de iniciarse la división carioquinésica (fig. 218).

α. La primera etapa ó *profase* se caracteriza porque durante ella el filamento nuclear se divide en varios trozos de igual longitud, que reciben el nombre de *chromosomas*, los cuales

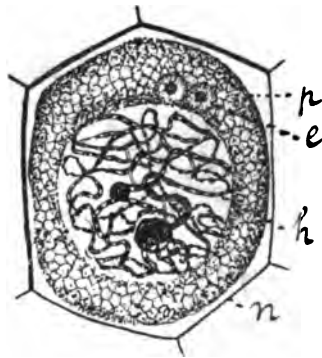


Fig. 218.—Célula madre de polen del *Lilium martagon*.—*p*, protoplasma; *e*, esferas directrices; *b*, hilo ó filamento nuclear, *n*, nucleolos.

(1) René Maire, *Recherches cytologiques sur quelques Ascomycètes*, *Annales Mycologici*, vol. III, núm. 2: 1905.

son muy pequeños en algunos casos y generalmente aparecen con mayor longitud afectando aproximadamente la forma de asa ú horquilla. Es, por tanto, esta etapa el acto preparatorio y de excisión del filamento nuclear.

Dos períodos caracterizan á la *profase*:

Período 1.º (*Espirema*).—Se reflejan en esta fase cuatro particularidades, al parecer simultáneas: 1.ª Aumento de volumen nuclear. 2.ª Desenvolvimiento, acortamiento, y, por consiguiente, espesamiento del filamento nuclear; es decir, este filamento, en ovillo enredoso y al parecer difundido en toda la masa nuclear ó cariosomática, se acorta y espesa, desapareciendo las anastómosis que en apariencia presentaba; y como el volumen del núcleo ha aumentado algo, las vueltas del ovillo están más espaciadas y se pueden distinguir perfectamente las extremidades ó cabos de dicho ovillo, que ha recibido el nombre de *Espirema* en atención al pelotón aparentemente arrollado en espiral que sobre sí mismo forma el filamento nuclear. 3.ª Localización marcada de la cromatina en el filamento nuclear, antes esparcida en toda la masa del núcleo. Y 4.ª Aparición de estrías radiales en la superficie de la membrana nuclear. Estas estrías ó delicadísimos filamentos se originan á expensas de la capa protoplásmica, denominada *kinoplasma*, que envuelve inmediatamente al núcleo (fig. 219).

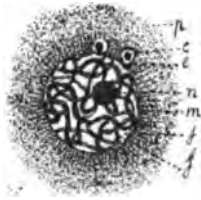


Fig. 219.—Período del *Espirema*.—*f*, ovillo cromático mostrando visiblemente el filamento nuclear; *p*, protoplasma; *n*, nucleolo; *m*, membrana nuclear; *j*, jugo nuclear; *e*, estrías protoplásmicas; *c*, centrosomas.

Período 2.º (*Asteroide*).—En este período se notan los siguientes fenómenos: 1.º La esfera de atracción se alarga, y tomando la forma de ocho se divide en dos nuevas esferas, alrededor de las cuales se localizan las estrías radiales kinoplásmicas. 2.º Estas esferas se separan de la posición primitiva, y recorriendo cada una un arco de 90º, vienen á colocarse en las extremidades de un diámetro de la célula, cuya posición es perpendicular al plano según el cual la célula ha de dividirse. 3.º Desde este momento, las esferas situadas en dos puntos opuestos llamados *polos de atracción*, son el centro de estria-

ciones radiales numerosísimas que simulan las radiaciones luminosas de un astro. 4.° La membrana nuclear, así como el nucleolo, se hacen menos visibles. 5.° El filamento nuclear se corta transversalmente en un cierto número de fragmentos sensiblemente iguales, rectos ó encorvados, llamados *chromosomas* ó *fragmentos cromáticos*, cuyo número es variable según las especies é invariable en un determinado órgano de la planta (fig. 220). 6.° Una vez fragmentado el filamento nuclear, los hilos acromáticos de linina que formaban parte de éste, se unen, sin separarse de los fragmentos cromáticos aún dispersos, á las estrías kinoplásmicas de las esferas de atracción que irradian frente á ellos, y dispuestos como meridianos en núme-

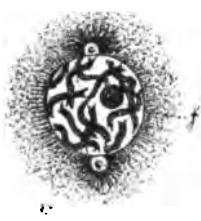


Fig. 220.—Período *Asteroide* (primer aspecto).  
—*f*, filamento segmentado en cromosomas separados.

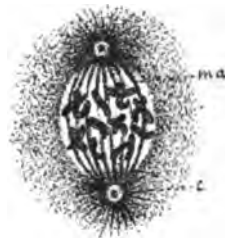


Fig. 221.—Período *Asteroide* (segundo aspecto).  
—*ma*, meridianos acromáticos del huso; *c*, centrosomas en los polos del huso.

ro igual al de cromosomas, constituyen en conjunto el huso acromático (fig. 221). En estos husos se distinguen dos partes, la central y la periférica, encargadas de distinta misión fisiológica. La parte central está formada sólo de las estrías kinoplásmicas, y como esencialmente están constituídas de substancia dermatoplásmica, su finalidad, como luego veremos, es formar el tabique celulósico divisorio, si há lugar, en la división carioquinésica. La parte periférica, ó sean los hilos externos del huso, están formados cada uno por apretado haz de filamentos acromáticos procedentes del cilindro de linina, en el seno del cual se hallaban alojados los discos cromáticos del filamento nuclear (véase pág. 250), distribuyéndose en tantos hilos acromáticos cuantos sean los cromosomas en que se divide el fila-

mento nuclear. De este modo cada cromosoma está unido por medio de su hilo respectivo á los dos centros de atracción polares. Este huso acromático, según Belzung(1), en doble coloración roja y azul, fija como el protoplasma y el nucleolo las tintas rojas, á diferencia de los cromosomas que se tiñen de azul.

En fin, la dispersión desordenada que en este momento ofrecen los cromosomas dentro del huso acromático, caracteriza el segundo periodo denominado *asteroide*.

*az.* La segunda etapa, ó *metafase*, se distingue por la segmentación longitudinal de los cromosomas y la separación á los polos ó centros de atracción de los semicromosomas respectivos, En esta fase sólo se percibe el período siguiente.

Período 3.º (*Placa ecuatorial*).—Recibe el nombre también de *estrella madre*, en razón á la disposición ordenada y asteriforme que ofrecen los cromosomas.

Los fenómenos que en este período se observan son los siguientes: 1.º Desaparición completa de la membrana nuclear y del nucleolo. 2.º Ordenada distribución de los cromosomas en el plano medio del huso acromático perpendicular á la línea que une los polos; en virtud de las fuerzas iguales y contrarias de estos centros de atracción, este plano es llamado *plano ó placa ecuatorial ó fase de la estrella madre* (fig. 222). 3.º Los

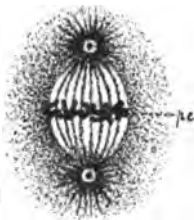


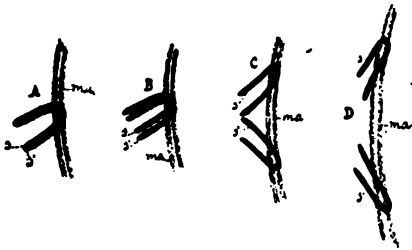
Fig. 222.—Período *Estrella madre*.—*pe*, placa ecuatorial ó estrella madre.

cromosomas ó segmentos del filamento nuclear se dividen longitudinalmente en dos partes iguales, y al mismo tiempo que esta división se opera, se produce el desdoblamiento consiguiente en los hilos externos acromáticos del huso, que continúan, sin embargo, estrechamente ligados por pares (fig. 223, A y B). Sucede á esta división de los cromosomas y desdoblamiento de los hilos acromáticos, que los semicromosomas, en número doble del de aquéllos, se separan

en el plano ecuatorial un número de grados igual al arco recorrido por el desdoblamiento de los hilos. Así se comprende que si los cromosomas eran rectos, adquieran, vistos de perfil, la forma de Y en la división iniciada (formación de esporas en la

(1) Belzung, *Anatomie et physiologie vegetales*: París, 1900, pág. 49.

*Galactinia succosa*), y conserven los arqueados el mismo contorno de horquilla que ellos tenían, ó sea la forma de U. 4.º Una vez efectuada la partición cromosomática y roto el equilibrio que sostenía la estrella madre, todos y cada uno de los semicromosomas fijos á cada uno de los hilos acromáticos desdoblados, se alejan unos de otros, mirando la parte convexa de la horquilla hacia el polo respectivo (fig. 223, C y D), y todo parece que sucede como si los filamentos periféricos de los conos acromáticos antípodos que van á parar á los semicromosomas



Figs. 223 á 226.—Periodo de la *División cromosomática*.—A: cromosomas *en* comenzando el desdoblamiento longitudinal; *s* y *s'*, semicromosomas; *ma*, meridianos acromáticos.—B: excisión completa de los semicromosomas *s* y *s'*.—C: los dos semicromosomas se desvían el uno del otro, resbalando cada cual por su meridiano respectivo.—D: los semicromosomas *s* y *s'* se dirigen á su polo ó centrosoma determinado.

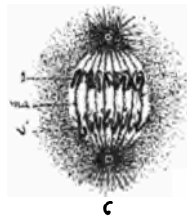


Fig. 227.—Aspecto del conjunto de la separación semicromosomática, á consecuencia de la división de los cromosomas indicada en el esquema de las figuras 223 á 226.—*ma*, meridianos acromáticos; *s* y *s'*, semicromosomas.

mas, tiraran de ellos, separando las dos mitades de que se componen y cada filamento se llevara una mitad hacia el centro de atracción de que procede. De este modo y por esa serie de evoluciones, al terminar la *metafase*, la substancia del núcleo madre se halla repartida por igual en cantidad y calidad en los dos núcleos de las células hijas.

*anáx.* La tercera etapa, ó *anafase*, se distingue principalmente por la formación de las estrellas hijas á expensas de los dos grupos de semicromosomas, y, finalmente, por el proceso inverso que siguen estos semicromosomas para unirse y formar

dos pélotonés ó dos nuevos filamentos nucleares. Dos períodos se suceden en esta etapa.

Período 4.º (*Doble estrella*).—En este proceso evolutivo de la mitosis se observan: 1.º Los semicromosomas de cada bando que han seguido el camino indicado por los hilos ó filamentos acromáticos, llegan al fin de su carrera. 2.º Al mismo tiempo que esto sucede, los polos ó centros de atracción se alejan el uno del otro, y como consecuencia, el conjunto del huso se alarga, haciéndose más voluminoso que el núcleo primitivo. 3.º Dicho huso pierde la forma bicónica que tenía y toma el aspecto de un tonel. Y 4.º Alrededor de los dos círculos terminales del tonel

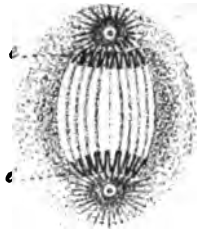


Fig 228.—Período *Doble estrella*.— Los semicromosomas respectivos á cada polo forman dos agrupaciones *e* y *e'* que adoptan la misma forma que la estrella madre, por lo cual reciben el nombre de estrellas hijas, y al fenómeno general con el de doble estrella.

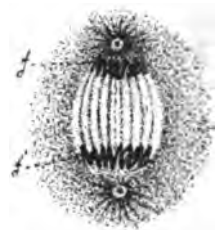


Fig. 229.—Período *Doble espirema* (primer aspecto).—Los semicromosomas respectivos de cada polo *f* y *f'* se unen por sus extremos constituyendo un solo filamento, que conserva cada uno el aspecto de estrella vista desde el polo ó centrosoma.

acromático, se disponen los semicromosomas de cada grupo afectando la misma forma que tenían los cromosomas de la estrella madre. De este modo resultan en los extremos dos *estrellas hijas*, caracterizando este período cuarto, que lleva el nombre de *doble estrella* (fig. 228).

Período 5.º (*Doble espirema*).—Finalmente, en este período se manifiestan los fenómenos siguientes: 1.º Cerca de cada polo y sin perder la porción acromática la forma de tonel, los semicromosomas se sueldan por sus extremos y forman un solo filamento en zig-zag (fig. 229). 2.º Desaparece paulatinamente el tonel acromático y simultáneamente los polos se hacen menos perceptibles; en cambio, los filamentos hijos forman cada uno



un ovillo ó filamento nuclear apelonado, alrededor de cada uno de los cuales se produce una membrana nuclear, apareciendo al mismo tiempo un nucleolo en el interior de cada núcleo (fig. 230). Como resultado final, el núcleo de la célula primitiva se ha convertido en dos, distribuyéndose por igual su substancia entre ambos, y desapareciendo á su vez. De aquí el nombre de *doble espirema*, por repetirse en ambos polos el período primero de *espirema* (fig. 219).

A.A. Posteriormente, todo vestigio de los meridianos acromáticos desaparece, y al lado de cada polo de atracción, que,

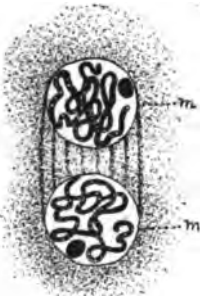


Fig. 230.—Período *Doble espirema* (segundo aspecto).—En cada uno de los filamentos hijos se produce nueva membrana nuclear *m*, y aparecen los nucleolos respectivos, si bien permanecen todavía algunos vestigios de los meridianos acromáticos.

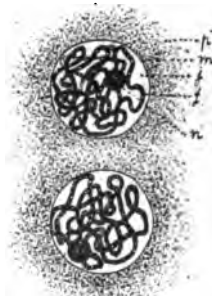


Fig. 231.—Desaparecen los vestigios de los meridianos, y los dos núcleos formados se hallan al fin constituidos como el núcleo primitivo.—*p*, protoplasma; *m*, membrana; *j*, jugo nuclear; *f*, filamento nuclear; *n*, nucleolo.

aun cuando imperceptible, su existencia ha sido demostrada por Guignard en casi todas las células, se encuentra un núcleo semejante al núcleo primitivo, con su membrana, su filamento nuclear en pelotón, carioplasma, jugo nuclear y nucleolo (figura 231). Cada uno de los dos núcleos aumenta de volumen, y como los filamentos nucleares respectivos son cada vez menos sensibles á los reactivos, volvemos á tener los caracteres del núcleo en reposo, de donde partimos para explicar la carioquinesis.

En suma: las tres etapas carioquinésicas, que á su vez ofrecen diferentes fases ó períodos, según hemos visto, podemos

manifestarlas para mayor claridad en el siguiente cuadro esquemático, de conformidad con lo expuesto por Bonnier y Leclerc du Sablon (1):

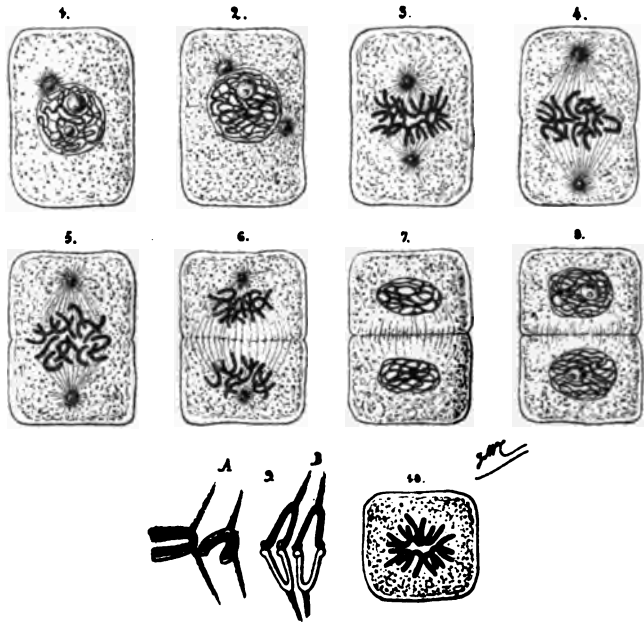


Fig. 232.—Figuras esquemáticas que representan el proceso de la división celular.— La célula típica con su núcleo, nucleolo y el centrosoma ó esfera de atracción está representada en la figura 1. En la figura 2 la esfera de atracción se ha dividido, y cada una de las dos mitades se dirigen á ocupar los polos opuestos de la célula. En la figura 3 el filamento nuclear se ha fragmentado en cromosomas que se ordenan fácilmente en el plano ecuatorial en la forma de estrella madre, según representa la figura 10 vista desde los pólos de la célula. En las figuras 4 y 5 se ven los husos acromáticos que parten de las esferas atractivas, y cada filamento va á parar á un cromosoma; éstos se dividen de la manera que indica la figura 9, *A* y *B*. En la figura 6 cada centro de atracción atrae la mitad de los cromosomas, y en ella se ve también la parte interna del huso destinada á formar la lámina divisoria de las dos células. El detalle de la división de los cromosomas y la manera como cada mitad se dirige á un polo opuesto, está representado en la figura 9, *A* y *B*. En la figura 7 los cromosomas se reúnen para formar el pelotón ú ovillo nuclear; la formación de la lámina divisoria está ya muy adelantada en la figura 8, y con ello ha terminado ya el proceso de la división.

(1) Gaston Bonnier et Leclerc du Sablon, *Cours de Botanique*, 1901, página 67.

## A. Núcleo inicial al estado de reposo (véase fig. 218).

|                |   |                             |  |   |
|----------------|---|-----------------------------|--|---|
| Carioquinesis, | {   | <i>Profase.</i>             | }  | Período 1.º <i>Espirema</i> .—Pelotón mostrando visiblemente el filamento nuclear (véase fig. 219).                 |
|                |   | División cromosomática.     |  | Período 2.º <i>Asteroide</i> .—Filamento segmentado en cromosomas esparcidos (véanse figs. 220 y 221).              |
|                | {   | <i>Metafase.</i>            | }  | Período 3.º <i>Placa ecuatorial</i> .—Segmentación longitudinal de los cromosomas (véanse figs. 222 á 227).         |
|                |   | División semicromosomática. |  | Período 4.º <i>Doble estrella</i> .—Estrellas formadas por los dos grupos de recientes cromosomas (véase fig. 228). |
| {              | <i>Anafase.</i>                           | }                           | Período 5.º <i>Doble espirema</i> .—Dos pelotones mostrando visiblemente los dos nuevos filamentos nucleares (véanse figs. 229 y 230). |   |
|                | Unión en los polos de los semicromosomas. |                             |  |   |

AA. Dos núcleos producidos al estado de reposo (véase fig. 231).

Mas como pudiera parecer más doctrinal bosquejar en una figura las diferentes fases anteriormente estudiadas, para observarlas todas en conjunto, nos complacemos en reproducir el siguiente grabado de Castellarnau (fig. 232), transcribiendo íntegra la explicación detallada que le acompaña, en la obra que repetidas veces se ha hecho mención (1).

(1) Dr. Roberto Hartig, *Compendio de anatomía y fisiología de las plantas*, traducido del alemán por D. Joaquín M. Castellarnau: Madrid, 1906 (fig. 6).

## CAPITULO II

**MODIFICACIONES MITÓTICAS Ó CARIOQUINÉSICAS: SIMPLES  
Y HETEROTÍPICAS—FORMAS DE SEGMENTACIÓN: IGUAL Y DESIGUAL;  
SIN TABICACIÓN Y CON TABICACIÓN**

**Modificaciones mitóticas.**—No todos los núcleos de las células vegetales ejecutan sus fases mitóticas ajustándose por completo al número, orden y disposición indicados en el tipo carioquinésico general, pues si en las distintas especies de Fanerógamas sólo se advierte gran diversidad respecto al número y la forma de los cromosomas, en cambio, en las Criptógamas, nos referimos al grupo de las Talofitas, adviértense mayores diferencias dentro de la misma división cromosomática que indicaremos, siquiera sea con la mayor brevedad posible.

Las variaciones más interesantes observadas, se reducen á dos: *mitosis simple* y *mitosis heterotípica*.

**Mitosis simple.**—Es muy frecuente que diversos hongos de la familia de los Uredináceos (*Puccinia*, *Uromyces*) manifiesten, en la formación del núcleo de las células madres de las esporas, una importante simplificación mitótica.

En efecto: dichas células madres, como en general las células generadoras de esporas (basidiomicetos, ascomicetos), son binucleadas, siendo sus dos núcleos reticulados y provistos de un gran nucleolo vacuolar (fig. 233, I).

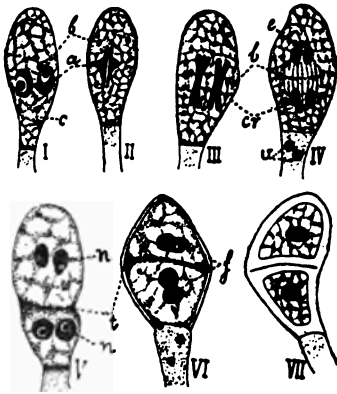
El conjunto de estas células binucleadas, separadas por sus tabiques respectivos, constituye las hifas (filamentos micelianos) reproductoras, recibiendo cada una de aquéllas el nombre de *sincario*.

Los sincarios terminales de cada hifa, ó, si ésta es ramificada, de sus ramificaciones, se transforman por mitosis simple en *uredosporas* y *teleutosporas*, ó en células madres de *basidios* y de *ascas*, según correspondan respectivamente á los hongos hipodérmeos, basidiomicetos y ascomicetos.

Se caracterizan además estos *sincarios* porque sus núcleos presentan un volumen mayor que los de las hifas subyacentes, si bien su cromatina no es tan abundante. Esta cromatina, en

lugar de congregarse en cariosomas reunidos por los filamentos de linina, como acontece con los núcleos de las hifas vegetativas multinucleadas, se organizan en filamentos, mucho más visibles en el último sincario, durante el proceso de fusión nuclear, que se reúnen antes que lo realicen los nucleolos.

En fin, el proceso de la división carioquinésica *simple* se efectúa del modo siguiente: en el momento de comenzar la división mitótica, la membrana nuclear desaparece, y el nucleo-



Figs. 233 á 239.—*Puccinia* de las *Liliáceas*.—I: *c*, célula madre de una teleutospora en la terminación de un filamento del talo denominada *sincario*, por estar provista de dos núcleos *a* con sus nucleolos respectivos *b*.—II: Los núcleos *a* se alargan y los nucleolos *b* se separan.—III: Cada uno de los núcleos del sincario se divide en dos cromosomas alargados *cr*.—IV: Cromosomas *cr* aproximados á las esferas directrices *c*, poco manifestadas en la figura: *v*, célula vegetativa con sus dos núcleos (*sincario* vegetativo).—V: Las dos células de teleutospora se hallan separadas por el tabique *t*; *n*, núcleos separados.—VI: La misma anterior con los núcleos fusionados.—VII: Teleutospora madura con células de un solo núcleo.

lo se coloca en el seno del protoplasma á un lado de la célula, el cual termina poco tiempo después por desaparecer también (fig. 233, II). La red cromática de cada núcleo se condensa en un cromosoma alargado (fig. 233, II *a*), de forma variable según las especies; los dos cromosomas, colocados cerca uno de otro, se dividen por mitad y longitudinalmente en otros dos (fig. 233, III), los que, estrechándose en el centro é hinchándose en los extremos, dan lugar á otras tantas parejas de cromosomas secundarios. Las dos parejas de cada núcleo ca-

minan respectivamente hacia los polos ó extremos de la célula (fig. 233, IV a), y aumentando de volumen al mismo tiempo, se unen por fin los cromosomas secundarios (fig. 233, V), resultando cuatro núcleos que adquieren después aspecto reticulado, y en los que aparecen nuevos nucleolos envolviéndose cada uno de su membrana albuminoidea.

Una vez constituidos los cuatro núcleos, se forma un tabique celulósico que separa los dos pares respectivos, y, por último, los núcleos de cada pareja se fusionan en uno solo constituyendo la *teleutospóra* (fig. 233, VI, VII).

El núcleo, según esto, ofrece gran simplicidad, pues se reduce esencialmente en reposo á *un solo cromosoma*.

**Mitosis heterotípica.**—En vista de los magistrales trabajos citológicos recientemente practicados por el sabio Profesor de Nancy, René Maire, sobre algunas especies de Basidiomicetos y Ascomicetos, sacamos en consecuencia lo siguiente (1):

Sírvanos de ejemplo lo que sucede en la formación de las ascas de la *Galactinia succosa* (hongo ascomiceto).

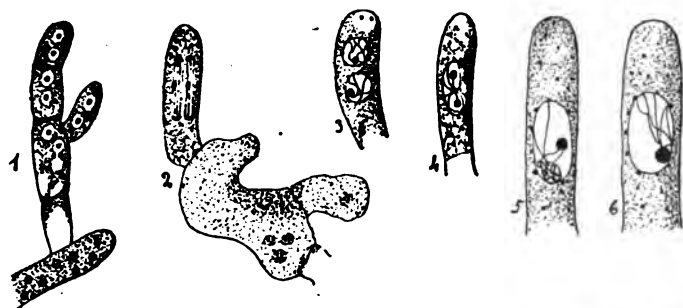
A las mitosis nucleares, que han de originar las esporas del asca, antecede un fenómeno preparatorio. Todas las células terminales de los pelos reproductores que han de transformarse en ascas, son *binucleadas* ó *sincarios*. En dichos dos núcleos tiene lugar un proceso mitótico de reducción ó simple, semejante al indicado en las *Puccinias*, y que da por resultado la fusión de ambos á uno solo, constituyendo así la célula madre del asca (fig. 240, 1, 2, 3 y 4). Esta finalidad fundamenta el nombre de sincario que llevan las células binucleadas.

El asca entonces se alarga considerablemente entre los parafisos (pelos estériles), y al mismo tiempo que el sincario superior engruesa considerablemente, organiza en su interior finos filamentos cromáticos largos y ensortijados, que toman el aspecto de un *espirema* ú ovillo laxo.

(1) R. Maire, *Recherches cytologiques et taxonomiques sur les Basidiomycetes*. *Full. Soc. Mycol.*, 1902.—R. Maire, *La mitose hétérotypique chez les Ascomycètes*. *Compte rendu de l'Académie*, 5 avril 1905.—R. Maire, *Recherches cytologiques sur quelques Ascomycètes*. *Annales Mycologiques* (vol. III, número 2), 1905.—R. Maire, *La mitose hétérotypique et la signification des protochromosomes chez les Basidiomycètes*. *Comptes rendus des séances de la Société de Biologie*. (Séance du 15 avril 1905, tomo LVIII, pág. 726.)

En este sincario, madre de las ocho esporas, se observan tres divisiones mitóticas: la primera *heterotípica*, y las otras dos *homotípicas*, en las que no desaparece el nucleolo hasta el fin, es decir, hasta que los cromosomas hijos forman núcleos independientes.

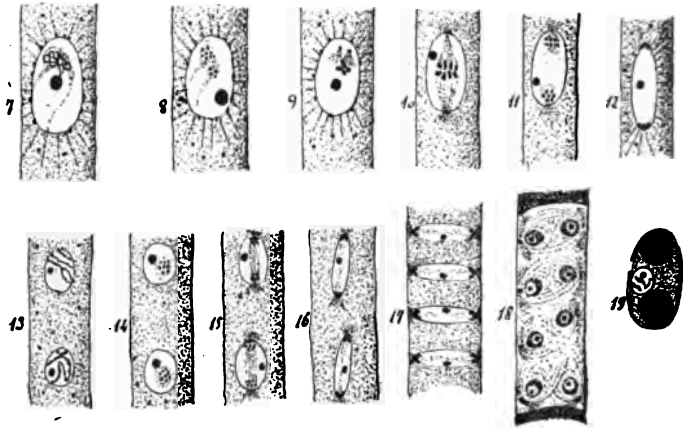
La división *heterotípica* se caracteriza: 1.º Por la presencia en su profase de una *sinapsis* (fig. 240, 5 y 6). Entiéndese con este nombre la particularidad de ser arrojados los filamentos cromáticos á un lado del núcleo, quedando el resto de la cavidad nuclear ocupado por vestigios de substancia acromática. 2.º Porque los filamentos cromáticos, reunidos en pelotón apretado (fig. 247, 7), se transforman en un conjunto de granulaciones fuertemente coloreables (fig. 247, 8). Estas granulaciones reciben el nombre de *protocromosomas*. Mas como la



Figs. 240 á 246.—Formación de las ascas en la *Galactinia succosa*.—1, hifa de sincarios nacida sobre una hifa multinucleada; las células terminales se transforman en células madres de las ascas.—2, división del primer sincario.—3, joven ascas con dos núcleos.—4, fusión de los dos núcleos de la joven ascas.—5, núcleo secundario del ascas, que aumentando de volumen inicia el estado de *sinapsis*.—6, *sinapsis*.

existencia de estos protocromosomas es transitoria, bien pronto se reúnen en cuatro fragmentos cromáticos ó cromosomas, que adquieren, como es natural, mayor grosor (fig. 247, 9). Este número de cromosomas es típico en las mitosis de esta especie. 3.º Otra de las particularidades notabilísimas en este proceso carioquinético, consiste en que los centrosomas y el huso acromático tienen un origen intranuclear, mientras que las radiaciones polares son de origen extranuclear, y se desenvuelven independientemente de la parte intranuclear. Y 4.º El tener

lugar en la metafase una segunda excisión cromosomática excepcional. En efecto: en la mitosis típica, los cromosomas ó fragmentos cromáticos, en la fase de estrella madre, se dividen longitudinalmente, y cada uno de los semicromosomas así for-



Figs. 247 á 259. —Formación de las ascas en la *Galactinia succosa* (continuación).

*Primera división (heterotípica)*. —7, estado profásico del núcleo sinapsis: espirema apretado ó filamento cromático en pelotón.—8, formación de los protocromosomas.—9, división del centrosoma.—10, estado metafásico: ocho cromosomas hijos.—11 (primer periodo de la anafase), los ocho cromosomas se dividen longitudinalmente, dando origen á dos grupos de ocho cromosomas que se dirigen á los polos.—12 (segundo periodo de la anafase), estado de tonel y formación de doble espirema.

*Segunda división (homotípica)*.—13, primer estado de la profase: los dos núcleos hijos en el estado de espirema.—14, formación de los protocromosomas.—15, primer periodo de la anafase.—16, segundo periodo de la fase ó estado de tonel.

*Tercera división (homotípica)*.—17, por los mismos procesos que anteriormente y disponiéndose los centrosomas transversalmente á la dirección de la hifa ó filamento miceliano, originan los cuatro núcleos formados en el periodo anterior, cuatro toneles transversos, cada uno de los cuales da lugar á dos núcleos.—18, formación de esporas por desarrollo y encorvamiento de los ocho aster respectivos: arriba y abajo las grandes vacuolas apical y basilar rellenas de latex coloreado con la zafranina y fijado con el permanganato potásico.—19, una espora adulta del ascas, con su núcleo en reposo, y dos grandes gotas de grasa teñidas por el ácido ósmico.

mados, siguen el camino de los hilos del huso acromático hasta llegar á los polos de atracción; mientras que en la mitosis heterotípica los semicromosomas resultantes de la división en el mismo periodo carioquinésico (fig. 247, 10), son á su vez divi-



dados regular é irregularmente en el trayecto hacia los centros de atracción (fig. 247, 11).

Fuera de estas diferencias, todas las fases del proceso continúan como en la mitosis típica, y reunidos los semicromosomas dúplices, constituyen en los polos los dos núcleos hijos (fig. 247, 12). Debemos advertir la presencia del nucleolo durante y después del proceso, y que, por tanto, su desaparición es posterior.

A esta división *heterotípica* suceden en el hongo indicado otras dos *homotípicas*. Los núcleos hijos, consecuencia de aquélla, son asiento de la primera de éstas, que comienza á manifestarse, como todas las mitosis, por un espirema (figura 247, 13).

Este *espirema* se divide en *ocho porciones* que se llaman *protocromosomas* (fig. 247, 14). Los dos centrosomas proceden de la bipartición del centrosoma primitivo, los cuales se alejan envueltos por un aster intranuclear. Al mismo tiempo los ocho protocromosomas se reúnen en *cuatro* partes ó cromosomas, cuyo número, según se ha dicho, es típico en esta especie. Esto cuatro cromosomas se dividen á lo largo y de una manera incompleta en la metafase de estrella madre, y por eso, al extenderse en dirección de los hilos del huso acromático, vistos de perfil, ofrecen el aspecto de una Y. Por fin, los semicromosomas se separan y agrupan en los polos de atracción, sin sufrir la bipartición ó división que caracteriza la mitosis heterotípica (fig. 247, 15).

Y como esta mitosis se realiza en los dos núcleos formados á expensas de la primera división, al final de esta segunda es cuatro el número de núcleos constituídos (fig. 247, 16).

Sobre estos cuatro núcleos así originados, tiene lugar la segunda *división homotípica*. En esta división, el espirema da directamente *cuatro cromosomas sin previa formación de protocromosomas*. A este carácter, que diferencia este proceso de los dos anteriores, hay que añadir que todas las figuras carioquinésicas en él producidas se distinguen de las de la anterior por ser más pequeñas, y principalmente porque el eje polar está dispuesto transversalmente con relación al eje del asca (fig. 247, 17).

De este modo se originan *ocho* núcleos que, envolviéndose cada uno de la correspondiente porción de protoplasma y pro-

tegidos por sus membranas respectivas, forman las ocho esporas que dentro de las ascas ó tecas encontramos (fig. 247, 18). Cada una de estas esporas al estado adulto presenta su núcleo con dos grandes gotas de grasa (fig. 247, 19).

**Otras formas de segmentación.**—Varias formas de segmentación se observan en las células vegetales, que ni se excluyen ni son incompatibles á las divisiones mitósica y amitósica estudiadas. Entre ellas tenemos las segmentaciones *igual* y *desigual*. En la primera, las células originadas tienen próximamente el mismo volumen, como es el caso general; mientras

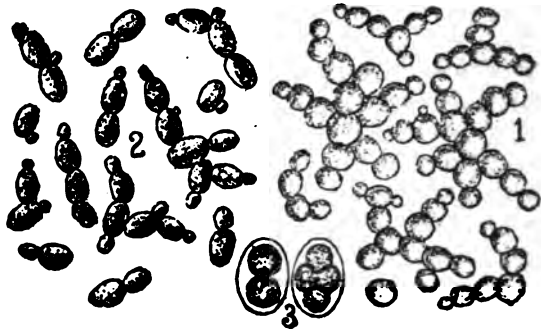


Fig. 260.—*Saccharomyces cerevisiae*.—1, levadura alta: germación.—2, levadura baja: germación.—3, tetrasporas ó ascas de cuatro esporas.—Segmentación exógena (núms. 1 y 2). Segmentación endógena (núm. 3)

que en la segunda, denominada *gemación*, aparecen en la superficie de las células otras pequeñísimas que poco á poco van adquiriendo el tamaño de las generadoras: sirva de ejemplo el *Saccharomyces cerevisiae* (fig. 260, 1 y 2).

Puede ser también la segmentación *exógena* y *endógena*, según que las células producidas se manifiesten al exterior (formación de los pelos, basidios, y proliferación celular en general originando tejidos), ó se engendran en el interior de las células (ascas, diodangios, formación de anterozoides, etc.) Esta segmentación endógena es consecuencia á veces del espesor de la cubierta celular, pues las células, teniendo que resistir al medio en que se encuentran, engruesan sus membranas celulares y las cutinizan para conservar dentro de ellas otras células originadas y que han de servir en condiciones favora-

bles para la reproducción del sér (ascosporas de *Saccharomyces cerevisia* (véase fig. 260, 3). Estas ascosporas resisten durante algunos minutos temperaturas hasta 110 y 115 grados.

Y, por último, la segmentación puede realizarse *sin tabicación ó con tabicación*.

*A.—Segmentación no tabicada.*

La segmentación se dice no tabicada, si á la división ó bipartición del núcleo no corresponden el tabique celulósico divisorio en la porción media del tonel acromático perpendicular á la línea que une los centrosomas. De este modo el núcleo se divide repetidas veces, y cuando en la célula existen varios núcleos, el citoplasma se distribuye parcialmente en torno de cada uno de ellos, y la célula madre se transforma en tantas células nuevas como núcleos contiene, recubriéndose al poco tiempo de membranas celulósicas.

Esto suele ocurrir en la formación de algunas esporas (ascomicetos, fig. 261), zoosporas (*Laminaria*, *Saprolegnia*, figura 262), y de aquí el nombre de *esporulación* que se ha dado al fenómeno.

La multiplicación no tabicada parece observarse también en la formación de células sexuales (anterozoides); pero estudios más detenidos hacen suponer que estas divisiones nucleares, así como las efectuadas en la esporulación, están acompañadas de tabicación, y tanto las esporas como los anterozoides, salen al exterior en virtud del fenómeno de la *renovación*, á consecuencia de la gelificación y disolución de las membranas celulares envolventes.

*AA.—Segmentación tabicada.*

Se dice *tabicada* si á la división ó bipartición del núcleo, sea mitósica ó amitósica, corresponde la formación de un tabique celulósico.

Si la división es *amitósica*, el estrechamiento del núcleo en su parte media lleva consigo el estrangulamiento progresivo de la membrana celular en el mismo plano, hasta unirse las paredes contrarias de la célula que con el tiempo constituyen el tabique celulósico de separación.

Si la bipartición nuclear es *mitósica*, la formación del tabique celulósico se opera en el plano medio del huso ó tonel acromático perpendicular á la línea que une los polos de atracción ó centrosomas. Ya se ha dicho que la base de los dos conos

acromáticos antípodas del huso, coincide con la placa ecuatorial; pues bien: en esta placa precisamente es donde el tabique de separación se forma por efecto de los filamentos internos kinoplásmicos que parten de las esferas directrices ó centros de atracción.

En efecto: observemos lo que pasa en una célula situada en el vértice meristemático de un tallo. Al dividirse el núcleo por

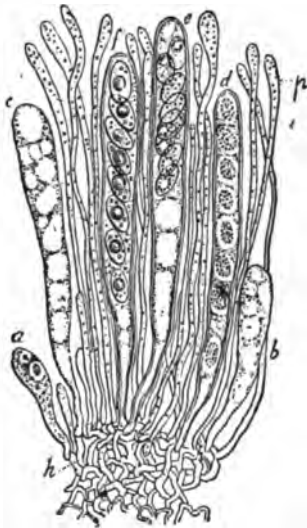


Fig. 261.—Ascas y parafitos de *Peziza pellucida*. —a, b, c, d, e, f, estados sucesivos de las ascas para llegar á la formación de las esporas endógenas sin tabicación por mitosis heterotípica véanse figs. 240 á 259); p, parafitos (pelos estériles); h, hifas ó filamentos celulares del himenio.

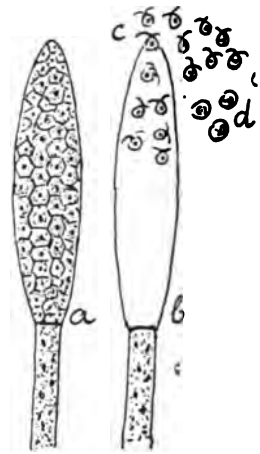


Fig. 262 —a, zoosporangio de *Saprolegnia*; salida de las zoosporas c del zoosporangio b; d, zoosporas sin pestañas y envueltos de membrana celulósica.

carioquinesis y en el momento de comenzar el período de doble espirema, los filamentos kinoplásmicos que constituyen la porción central del huso acromático, aumentan en número y espesor. En el medio de cada filamento, ó sea en la región que corresponde al ecuador del huso, se forma una especie de nudosidad (véase fig. 232, 7, 8) que, ensanchándose, se pone en contacto con las nudosidades correspondientes á los filamentos

vecinos. De este modo se origina una placa llamada *placa celular*, que se extiende poco á poco hacia las paredes en el plano ecuatorial y á veces en sentido inverso. De la magnitud del diámetro de la célula con relación á la masa del plasma contenido, depende, según dice Castellarnau, el que la lámina media se forme toda ella á la vez, ó avance desde las paredes de la célula madre hacia el centro.

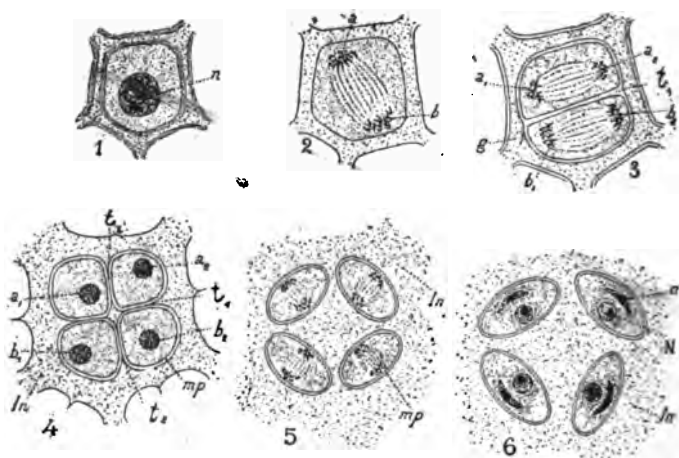
La joven membrana, al principio albuminoidea y formada de granulaciones dermatoplásmicas, pronto se incrusta en su parte media de sustancias pécticas (pectosa, callosa), y en sus dos caras laterales de celulosa, dando así por resultado capas cada vez más espesas á ambos lados de la delgadísima lámina media. Según esto, la membrana originada en el momento presente, se halla constituida por una red dermatoplásmica que engloba en sus mallas elementos de callosa, pectosa y, sobre todo, de celulosa.

Por consiguiente, durante la anafase carioquinésica ó de constitución de los dos núcleos hijos, se realiza la formación de la membrana divisoria, en cuyo proceso intervienen por igual los núcleos respectivos á cada una de las dos células hijas, y, por tanto, no corresponde en especial á ninguna de ellas.

Separadas ya las células por la lámina media, que es siempre sumamente delgada, la capa hialina superficial y protoplásmica, llamada dermatoplasma, es generadora de las paredes propias á cada célula, quedando siempre dicha lámina media como terreno neutral entre las células contiguas. En los diversos tejidos celulares la capa media forma el retículo general y primitivo, y dentro de cada malla se encuentra una célula con sus paredes propias: éstas, según se ha dicho, son debidas á la actividad protoplásmica, mientras que aquella es originada por la unión ó encuentro de los filamentos de las regiones centrales de los conos acromáticos antípodos que parten de los dos polos de atracción. La lámina primitiva termina su desarrollo cuando las paredes celulares empiezan el suyo, y se diferencia de ellas por su estructura amorfa, y además por estar constituida casi exclusivamente por sustancias pécticas y particularmente por pectato de calcio, según Mangin.

La formación de tabiques celulares puede ser *sucesiva* ó *simultánea*.

Decimos *sucesiva* cuando el proceso se realiza de la manera antedicha, es decir, siempre que á la división de cada núcleo acompañe *ipso facto* la formación del tabique respectivo. Un ejemplo de esta tabicación sucesiva nos ofrecen las células madres de los granos de polen en las plantas Monocotiledóneas; excepción hecha de las Orquidáceas. El núcleo de cada célula madre se divide en dos, y al mismo tiempo se

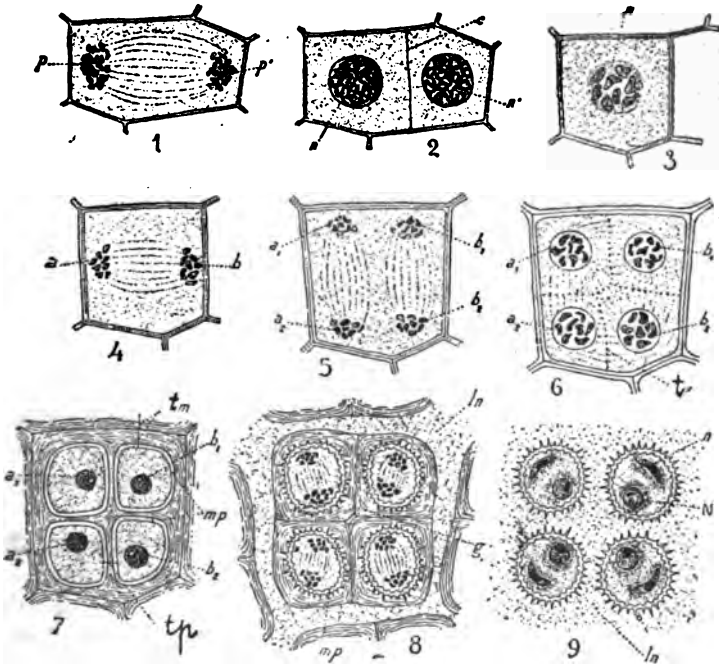


Figs. 263 á 268.—Desarrollo del polen con tabicación sucesiva del *Lilium candidum* — 1, célula madre con su núcleo, aislada de sus vecinas.—2, el núcleo se divide en *a* y *b* con reducción cromática.—3, una vez formado el tabique  $t_1$ , el núcleo *a* se divide en  $a_1$  y  $a_2$ , y el núcleo *b* en  $b_1$  y  $b_2$ ; la membrana continúa gelificándose en *g*.—4, las cuatro células polínicas están formadas:  $t_1$ , primer tabique formado;  $t_2$ , tabiques formados después; *mp*, membrana propia de los granos de polen; *ln*, líquido nutritivo.—5, los cuatro granos de polen aislado y el núcleo de cada uno de ellos se divide —6, los cuatro granos de polen con su forma definitiva: *N*, núcleo vegetativo; *n*, núcleo generativo.

forma su tabique divisorio; y después cada una de las células originadas siguen el proceso anterior, engendrando de este modo las cuatro células hijas ó granos de polen que corresponden á cada célula madre (figs. 263 á 268).

La formación de tabiques es *simultánea* si la división del núcleo no va acompañada inmediatamente de su tabique respectivo. Aquí las divisiones mitóticas continúan hasta la formación de todos los núcleos que funcionalmente ha de engen-

drar la célula, y en el momento de haber terminado ésta el proceso mitótico, es cuando simultáneamente se forman los tabiques divisorios separando todos los núcleos. Como ejemplo



Figs. 269 á 277. — Desarrollo del polen con tabicación simultánea de una *Lavatera*. — 1, célula madre aislada de una célula madre primordial dividiendo su núcleo en dos  $p p'$ . — 2, dos células madres definitivas procedentes de la anterior;  $n n'$ , núcleos;  $d$ , tabique ó primera división celulósica. — 3, célula madre definitiva cuyo núcleo  $n$  se fragmenta su filamento con reducción cromática. — 4, división de la célula en dos nuevos núcleos  $a$  y  $b$ . — 5, segunda división nuclear en  $a_1, a_2, b_1, b_2$ . — 6, los tabiques  $t$  se producen simultáneamente entre los cuatro núcleos. — 7, los tabiques celulósicos de las células madres  $t m$  y los que separan las células polymicas  $t p$  se gelifican, excepto las membranas  $m p$  de los cuatro granos de polen. — 8, la gelificación aumenta y las células madres flotan en el liquido nutritivo  $l n$ , los granos de polen diferencian sus membranas envolventes  $m p$  y dividen sus núcleos. — 9, los granos de polen separados flotan en el liquido nutritivo  $l n$ , teniendo cada uno su núcleo vegetativo  $N$  y su núcleo generativo ó reproductor  $n$ .

de este proceso, puede servirnos la formación, en las células madres, de las cuatro células hijas ó granos de polen de las Dicotiledóneas (figs. 269 á 277).

Esta tabicación simultánea se repite en la proliferación del albumen del saco embrionario de muchas plantas Angiospermas. El núcleo generador, que recibe el nombre de *huevo accesorio* ó *alimenticio*, se divide sucesivamente en dos, cuatro, ocho, etc., núcleos que se adosan á las paredes del saco sin producción de membranas celulares; más tarde estos núcleos parietales continúan la división carioquinésica en un gran número de núcleos ó enérgidas que rellenan dicho saco sin formación de tabiques, hasta que al fin, y simultáneamente, se forman todos ellos.

Es frecuente, además, que en los tejidos en vías de formación, la actividad mitótica nuclear y su tabicación respectiva sea tan rápida, que las biparticiones nucleares y las tabicaciones consiguientes, se realizan casi simultáneamente. Por esto, no es de extrañar que en la formación del albumen de la *Caltha*, según Bonnier, se perciban varios núcleos que están unidos con otros contiguos por husos acromáticos carioquinésicos; y si observamos albúmenes algo más avanzados en su desarrollo, como se ha visto en el *Myosurus*, se destacan todavía los filamentos del huso acromático, á pesar de estar perfectamente constituidos los tabiques de las células integrantes.

Un poco más de atención en este concepto, nos hace ver, sin embargo, que en la formación ó proliferación del albumen de las semillas se nota cierta diferenciación, pues la marcha de la tabicación se efectúa ordenadamente y por capas de células desde la periferia del saco al centro, y, por lo tanto, la formación de tabiques es *simultánea* para las células de la misma capa, y *sucesiva* con relación á las demás.

Queda indicado que de la magnitud de la célula con respecto á la masa de plasma que contiene, depende el que la lámina media ó tabique pectocelulósico se forme de una vez, como es el caso general en los vegetales superiores, ó bien avance siguiendo la placa ecuatorial desde las paredes de la célula madre hacia el centro; de donde resulta que siempre que el ecuador del tonel acromático esté en contacto con las paredes laterales de la célula madre, los tabiques celuloso-pécticos, divisorios, simultáneos ó sucesivos, pueden formarse de una vez ó con *precocidad*, y en otros casos *progresivamente*, como ocurre en las *Spirogyras*.

Esta formación progresiva se efectúa en las *Spirogyras*



mediante un espesamiento ó rodete anular interno, que, partiendo de la pared ecuatorial de las células, avanza, de un modo centrípeto, hacia el interior, siguiendo el movimiento correspondiente de los hilos acromáticos del tonel hasta completar la separación de las dos células hijas. Esta tabicación, que pudiéramos llamar *periférico-centrípeta*, ha sido perfectamente observada en la *Spirogyra orthospira*.

Para ello, y como la división carioquinésica en estas algas clorofíceas comienza frecuentemente á una hora bastante avanzada de la noche, y el fenómeno, además, dura de cuatro á seis horas, ha sido preciso buscar diversos medios con objeto de obviar aquel inconveniente. Famintzin, iluminando potentemente á estas algas durante la noche, ha podido retrasar el momento de dicha división mitósica hasta llegar el día; pero como quiera que hay necesidad de disponer de manantiales luminosos muy intensos, y no siempre pueden procurarse, se ha desechado dicho procedimiento, siguiéndose en la actualidad otro más sencillo recomendado por Strasburger. Este sabio coloca los recipientes cristalinos donde se encuentran las algas en una atmósfera cuya temperatura sea inferior á — 5°, con lo cual consigue que no se opere la división carioquinésica durante la noche. A la mañana siguiente traslada dichos recipientes á una cámara caliente, notando con ello que la mitosis comienza aun cuando se hallen expuestas las algas á la acción directa del sol. Si con un objetivo cuyo aumento sea de unos 600 diámetros, observamos bajo el campo microscópico á los vegetales en cuestión, podremos de un modo completo estudiar y ver todas las fases de la segmentación carioquinésica y observar, además, la aparición gradual de los tabiques divisorios respectivos que, comenzando en el protoplasma periférico y ecuatorial de la célula madre, marchan progresivamente hacia el centro de la célula, constituyéndose así el tabique medianero de los dos núcleos hijos, análogamente al modo como se cierran los diafragmas iris de los aparatos de iluminación en los microscopios.

Pero ocurre otras veces, según Treub (1), como sucede en las células del tegumento del óvulo del *Epipactis palustris*,

(1) Treub, *Quelques recherches sur le rôle du noyau dans la division des cellules vegetales*: Amsterdam, 1878.

que los dos núcleos hijos procedentes de la división mitótica, ocupan en un principio uno de los bordes de la célula madre, unidos, como es consiguiente, con todo el aparato nuclear acromático, y entonces, iniciándose en esta región lateral la membrana pecto-celulósica divisoria, camina gradualmente el aparato carioquinésico hacia el borde opuesto de la célula, construyendo y completando al mismo tiempo el tabique divisorio de las dos células hijas. Esta formación del tabique celulósico es igualmente *progresiva*, pero no *periférico-centrípeto*, como la anterior, sino más bien *periférico-diametral*, al modo como una cortina cubre una ventana circular.

Sin embargo, la división carioquinésica no siempre va acompañada de tabique celulósico que separa los dos núcleos hijos, pues á veces la placa ecuatorial que se forma en el núcleo primitivo sufre una contracción diametral, afectando la forma de bizcocho todo el aparato acromático, y juntándose los dos extremos del estrangulamiento, terminan por separarse los dos núcleos hijos sin formación de tabique medianero, como acontece en las células multinucleadas (*Cladophora*, etc.)

**Influencia de los agentes exteriores sobre la formación y dirección de la membrana divisoria.**—Unos favorecen la formación de la membrana y aceleran, por consiguiente, la tabicación rápida de los tejidos. Otros determinan la dirección del sistema carioquinésico, y, por tanto, de la membrana originada.

**Influencias activadoras.**—Entre ellas tenemos la presión; la ejercida sobre una célula activa favorece la tabicación.

Knight fué el primero que fijando el tallo de un joven manzano de modo que no pudiera ser movido por el viento más que en la dirección N. á S., observó que el árbol se espesaba precisamente en esta dirección. La constante curvatura manifestada en la cara S. de dicho árbol por los vientos del N., ejercía presiones sobre las células, determinando con ello un desarrollo más activo de tejidos.

Más tarde, Hartig (1) manifestó que todos los árboles expuestos á los vientos del O. producen tabicaciones más activas y anillos más anchos en la cara E.; advirtiendo además que esta excentricidad anual de los anillos libero-leñosos está ligada casi siempre á más exigua producción de ramas en dicha cara.

(1) R. Hartig, *Wachstumsuntersuchungen an Fichten. Forst Naturwiss. Zeitschr.*, V: 1896.

Kny (1), que ha estudiado detenidamente esta cuestión, nos dice que comprimiendo lateralmente por medio de unas pinzas el tallo de *Impatiens Balsamina*, reaparece ó brota de nuevo la división celular en las células de la medula que habían terminado este proceso generativo. Según esto, queda perfectamente demostrado que la presión es favorable á la formación de las membranas.

Mas si en las condiciones que hemos indicado la tabicación es más rápida, la influencia inversa, es decir, la ausencia total de presión, ó como si dijéramos, una *presión negativa* que corresponde evidentemente á una *tracción* ejercida sobre la célula, da origen á las mismas consecuencias.

Robert Hoffmann (2), colocando en el agua ramos de distintos árboles, hubo de notar que las células cambiales de la superficie del corte, libres de toda presión, se multiplicaban con rapidez suma, dando lugar á un rodete anular á lo largo del anillo cambial. Una sección transversal de este rodete (corte longitudinal con relación al ramo), es un semicírculo en el cual las hileras de células se extienden radialmente.

Análogamente, en ciertas partes de la superficie de un árbol, en las que la presión, por lo débil, no sólo ha desaparecido, sino que se ha cambiado en negativa, en el caso, por ejemplo, de depresiones situadas en la superficie de un tronco provocadas por la tracción de los tejidos subyacentes de la corteza, las divisiones celulares parecen efectuarse más frecuentemente que cuando se hallan sometidas á la presión normal de la corteza. Así se comprende que algunos tallos más ó menos angulosos ó prismáticos en su juventud, se transformen poco á poco en circulares ó cilíndricos, á consecuencia de crecimientos activos en los sitios ó lugares angostos ó retraídos, dando lugar con ello á un estado equilibrante de fuerzas actuando por igual en el crecimiento del tallo.

En las manzanas ocurre frecuentemente que las paredes esclerificadas (*endocarpio*) de las cavidades ó compartimientos en que se hallan las semillas, se agrietan por el crecimiento. Y en este caso las células parenquimatosas situadas en su proximidad, proliferan y penetran en las cavidades, formando filamentos celulares largos y entrecruzados.

En una palabra, la presencia de un espacio hueco, natural ó acci-

(1) Kny, *Ueber den Einfluss von Zug und Druck auf die Richtung der Scheidewände in sich theilenden Pflanzensellen*. Ber. d. deutsch. Bot. Ges., Bd. XIV, 1896, pág. 388.—Idem, *Jahrb. f. wiss. Botanik*, Bd. XXXVII, Heft. 1, 1901.

(2) Robert Hoffmann, *Untersuchungen über die Wirkungsmecanischer Kräfte auf die Theilung, Anordnung und Ausbildung der Zellen, beim Aufbau des Stammes der Laub- und Nadelhölzer*. Inaugural. Dissertation, 1885.

dental, al lado de un tejido, puede provocar en éste una tabicación rápida, y he aquí la razón que permitió á Eug. Bertrand (1) para anunciar su «ley de las superficies libres.»

El mismo proceso de *cicatrización* entra de lleno en este orden de fenómenos. En efecto: cuando una lesión se produce en la superficie de un órgano cualquiera, inmediatamente se forma, por reacción del tejido subyacente, un sistema celular suberoso que cierra y cicatriza bien pronto la herida producida. En este caso, observado mucho tiempo há, la división celular se efectúa en las condiciones ordinarias de un modo siempre uniforme.

**Influencias directrices.**—Hasta estos últimos años, las causas que pueden influir en la dirección de las membranas celulares, habían preocupado muy poco á los botánicos.

Ya Hofmeister (2) entrevió la necesidad de acciones mecánicas de cierta naturaleza para darse cuenta clara del desarrollo de los órganos en vías de crecimiento; pero hasta Kny nadie pudo investigar las causas que determinan el sentido de la división nuclear para fijar consecuentemente la dirección del tabique divisorio.

Dicho naturalista (3), después de múltiples observaciones, pone en claro el importantísimo papel que se debe atribuir á la *tracción* y á la *presión* ejercidas sobre las células.

Para llegar al fin que se proponía, sometió órganos muy diversos á presiones ó tracciones artificiales, y pudo así confirmar unas experiencias con las otras. Demostró que las fuerzas que actúan sobre las células de los órganos en vías de desarrollo, ya sean tracciones ó presiones, tienen una influencia considerable sobre la dirección según la cual se opera el crecimiento, y sobre la orientación de las paredes de división; deduciendo de todo ello que el crecimiento se efectúa en el sentido de la tracción y es perpendicular á la dirección de la presión siempre que no actúen otras fuerzas en contrario. Más aún: refiriéndose á la división nuclear y á la posición que debe ocupar el nuevo tabique divisorio, dedujo la siguiente ley: «Los tabiques de separación tienden á colocarse en la dirección de la presión, y perpendicularmente al sentido de la tracción »

(1) C. Eug. Bertrand, *Loi des surfaces libres*. *Bull. Soc. bot. de France*, XXXI, 1884.

(2) Hofmeister, *Zusätze und Berichtigungen zu den 1851 veröffentlichten Untersuchungen der Entwicklung höherer Kryptogamen*. *Jahrb. f. wiss. Botanik*, III, 1862, pág. 272.—*Die Pflanzenselle*, 1867, págs. 127 y 132.

(3) Kny, *Ueber den Einfluss von Zug und Druck auf die Richtung der Scheidewände in sich theilenden Pflanzensellen*.—*Ber. d. deutsch. Bot. Ges.*, Bd. XIV, 1896, pág. 388.—Idem, *Jahrb. f. wiss. Botanik*, Bd. XXXVII, Heft. I, 1901.

Según esto, si conforme con las experiencias de Kny, se comprime, entre dos láminas de vidrio, huevos del *Fucus vexiculosus*, esporas de *Equisetum*, ó puntos determinados en los cuales se inicie la germinación de una planta, la primera membrana se establece siempre perpendicularmente á las láminas de vidrio, es decir, en el sentido de la presión. Por el contrario, si el anillo de esclerenquima de un tallo se rompe ó agrieta en un punto cualquiera, los dos bordes de la hendidura practicada ejercen, separándose, una tracción sobre las células parenquimatosas vecinas, las que, ya procedan del exterior ó del interior, rellenan por tabicación el espacio formado según la ley de las superficies libres. Una observación más atenta nos enseña que en las células invasoras se hallan tabiques radiales, perpendiculares á la tracción, que es, en efecto, lo que sucede siempre en confirmación plena de las conclusiones de Kny.

No creamos, sin embargo, que estas causas sean exclusivas determinantes del fenómeno, pues otras influencias pueden contribuir á la acción directriz de la membrana y también á modificar más ó menos las anteriores. Entre ellas podemos considerar, unas procedentes del exterior y otras de origen interno.

Entre las *influencias externas*, debemos citar, en primer término, las resistencias mecánicas que ciertos tejidos ú órganos tienen que vencer, tanto en sus crecimientos longitudinales como transversales ó en espesor; como sucede, por ejemplo, con las lianas en su contacto con los soportes, y el esfuerzo de las raíces para penetrar en el suelo.

Es un hecho de todos conocido que la luz desempeña un papel importante en el funcionamiento de las células. Acerca de esto, Kolderup Rosenvinge (1), Farnier et Willams (2) y Hans Winkler (3), han demostrado que cuando los rayos luminosos caen sobre las células, sirvan de ejemplo los huevos de ciertas Fucáceas, la primera membrana que se forma es siempre perpendicular al haz luminoso. Notaron además que si la luz actúa sobre un punto cualquiera del sér, la célula iluminada da siempre el eje vegetativo y la célula que ocupa la posición opuesta, los rizoides, sucediendo lo inverso con el cambio diametral de incidencia luminosa.

(1) Kolderup Rosenvinge, *Influence des agents extérieurs sur l'organisation polaire et dorsiventrals des plantes. Mem. gen. de Bot.*, I, 1889, pág. 53.

(2) Farnier et Willams, *Contributions to our Knowledge of the Fucaceae. Cheir life History and Cytology. Philos. Transact. of the Royal Soc.*, serie B, vol. 190, 1893, pág. 823.

(3) Hans Winkler, *Ueber den Einfluss äusserer Factorem auf die Theilung der Eier von Cystosira barbata. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges.*, XVIII, 1900, pág. 297.

Sin perjuicio de confirmar los resultados anteriores, Kny manifiesta que cuando la presión y la luz obran á la vez, la presión es preponderante. Así, por ejemplo, si se comprimen huevos de *Fucus* ó esporas de *Osmunda* ó de *Equisetum*, expuestos á las radiaciones luminosas, las figuras carioquinéticas se colocan conforme á la ley de las presiones, es decir, que las paredes en formación son perpendiculares á las láminas de vidrio.

Es indudable que la *pesantez* contribuya también á este conjunto de fenómenos, si bien es una parte del problema que necesita estudio y observaciones detenidas.

Las *influencias internas* que puedan oponerse á las acciones mecánicas, se hallan ligadas íntimamente con el proceso de desarrollo prescrito por la herencia en las diversas especies de plantas.

La herencia interviene principalmente, siempre que la capa generatriz (*felogeno*) del peridermo continúa su tabicación tangencial á pesar del empuje creciente y progresivo de la masa libero-leñosa. La herencia se manifiesta también comprimiendo lateralmente un tallo de radios medulares uniseriados. Pues debiendo producirse en estos radios, tabiques paralelos á la presión, ó tabiques radiales que por consiguiente desdoblén las series celulares en la región comprimida, sólo por excepción se produce el fenómeno.

En suma: todas las acciones que acabamos de estudiar, pueden determinar, combinando sus efectos, la posición de la membrana, que, como se ve, es la resultante de una serie de fenómenos muy complejos.

### CAPITULO III

#### CONSECUENCIA DE LA SEGMENTACIÓN—COMUNICACIONES PROTOPLÁSMICAS—ESTRUCTURA—REPRODUCCIÓN MONOMERA

**Comunicaciones protoplásmicas.**—Los tabiques formados á consecuencia de la segmentación tabicada, no ofrecen una continuidad completa; antes por el contrario, existen en todos ellos finísimos conductos, delatados mediante delicadas observaciones que sirven para establecer relación entre los protoplasmas de las distintas células que siguen conservando su individualidad.

A estos filamentos protoplásmicos, que en relación casi cons-

tante con las puntuaciones ponen en comunicación á los protoplasmas de las diferentes células, los denomina Strasburger *plasmodesmos* (1).

Descubiertos en 1878 por Thuret y Borner en algunas Rodoficeas, han sido observados después por Tangl, Gardiner, Strasburger, Klebs, Kienitz-Gerloff, W. Hill y otros muchos, y hoy puede asegurarse que se hallan en las células de todos los tejidos. Como caso particular de plasmodesmos voluminosos, pueden citarse las comunicaciones protoplásmicas de los tubos ó vasos cribosos.

Para evidenciar dichas comunicaciones protoplásmicas, se hace preciso tratar los cortes microtómicos de las plantas en ensayo por el ácido sulfúrico ó clorhídrico concentrados, á favor de los cuales se hinchan las membranas celulares, haciéndose en ellas manifiestos los filamentos protoplásmicos, tiñendo dichos cortes con cualquier colorante del protoplasma (2).

Conviene hagamos notar que estas relaciones protoplásmicas entre las células vecinas, se reducen sólo á contactos, es decir, que *no hay continuidad* de substancia, *sino solamente contigüidad*; pues únicamente los tubos cribosos que en las plantas vasculares conducen á los lugares convenientes los principios plásticos elaborados por los órganos verdes, son los que ofrecen un exacto ejemplo de perfectas comunicaciones protoplásmicas.

Entre las plantas que podemos enumerar para observar con claridad el fenómeno en cuestión, deben citarse, entre las Fanerógamas, los géneros *Phytelephas*, *Humulus*, *Cerasus*, *Rhammus*, *Viscum*, *Nerium*; y entre las Criptógamas, el *Polypodium* y *Ophyoglossum* (figuras 278 y 279), y muchas Talofitas en que estas comunicaciones adquieren mayor grosor.

Para facilitar estas observaciones, aconseja Bonnier contraer el protoplasma y colorearlo para que, separado de la membrana, se perciban ostensiblemente las delicadas conexiones de que se trata; obtiene este doble resultado mediante la acción del yodo y del azul de metileno respectivamente.

Indica el mismo autor (3), como origen probable de estas comunicaciones protoplásmicas, los vestigios de los filamentos acromáticos

(1) Strasburger, *Ueber Plasmaverbindungen pflanzenlicher Zellen. Jahrb. f. wiss. Botanik*, Bd. XXXVI, Heft. 3, pág. 493, 1901.

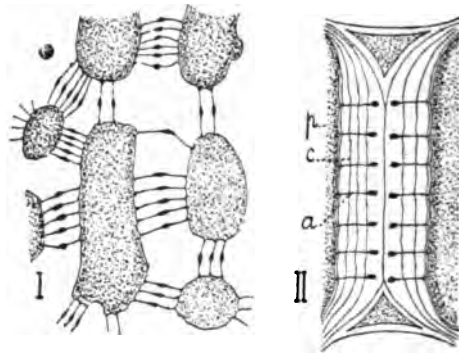
(2) Es preferible el ácido clorhídrico al sulfúrico, porque éste desorganiza fácilmente los tejidos expuestos bajo su acción.

(3) Gaston Bonnier et Leclerc du Sablon, *Cours de botanique*: Paris, 1901, pág. 90.

del huso que se multiplican en el momento de la formación de la membrana; suposición que luego desecha como innecesaria, atendiendo al hecho comprobado de producirse filamentos protoplásmicos por perforación de la membrana entre dos células primitivamente libres que se adhieren, y aun en el caso en que esta unión se establezca entre la célula de una planta parásita, y otra de la planta tributaria.

Tres son las funciones que desempeñan los plasmodesmos en la vida vegetal, cuales son: transmisión de las excitaciones, transporte de materiales nutritivos, y conducción de fermentos.

α. Hanstem fué el primero que emitió la idea de que los



Figs. 278 y 279.—I, parénquima de la adelfa (*Nerium oleander*), con las membranas celulares, representadas en blanco, hinchadas por el ácido sulfúrico; las comunicaciones protoplásmicas son más gruesas en la porción media de los tabiques divisorios.—II, pared celular dilatada del rizoma del *Polypodium vulgare*: *p*, protoplasma; *c*, capas de estratificación de la membrana; *a*, puntuaciones prolongadas en canalillos á consecuencia de la hinchazón de las membranas por la acción del ácido sulfúrico, no en comunicación con los de la célula contigua. (De practicarse el corte más oblicuo, aparentemente observaríamos las comunicaciones de las masas protoplásmicas, como se hallan representadas en la figura I.)

cordones protoplásmicos que atraviesan las placas cribosas, transmitían las sensaciones recibidas; de aquí que comparara á los vasos cribosos con los nervios de los animales. Posteriormente, Gardiner, Schmitz, Pfeffer y Hamberlandt, consideraron á los plasmodesmos como los órganos exclusivos de esta función,



«En la transmisión de las sensaciones, dice Pfeffer (1), los filamentos protoplásmicos que unen las células, son, como los nervios de los animales, las vías de comunicación. Cada excitación ocasionada á una célula, produce acciones determinadas en las células vecinas, y no es imposible que diferentes hilos plásmicos transmitan excitaciones diferentes.» La membrana celular juega su papel en el fenómeno, y su concurso no despreciable puede contribuir, «entrando en vibración, á propagar las impresiones recibidas del protoplasma que le toca.»

*ax.* Las dificultades que se encontraban para explicar por sólo la ósmosis la rapidez con que se opera la circulación en las plantas, se anulan en gran parte, según los citólogos, con el auxiliar poderosísimo de los plasmodesmos.

En efecto: según Vries (2), un milígramo de cloruro de sodio al 10 por 100, exige, para recorrer por difusión en el agua la distancia de un metro, 319 días, y para la misma cantidad de albúmina, 14 años; de todo lo cual se infiere que la migración de las substancias al través del cuerpo de la planta, es debilísima. Gracias, por tanto, á los filetes plásmicos y poros ó puntuaciones de las membranas se favorece la circulación, interviniendo como conductores naturales en el fenómeno.

*axx.* Los plasmodesmos son además conductores de los fermentos, según las observaciones concordantes de Gardiner (3) y Strasburger.

El fenómeno se produce del modo siguiente: una vez que penetran los fermentos en los filetes protoplásmicos al llegar á la región de la lámina media, que es péctica, mucilaginoso y de poca resistencia, crece la actividad corrosiva del fermento, y el area de destrucción ó transformación aumenta de célula á célula, de tal modo que las figuras de corrosión intercelulares afectan la forma de dos conos opuestos por las bases.

(1) Pfeffer, *Zur Kenntniss der Contactreize. Untersuchungen a. d. bot. Inst. Tübingen*, Bd. I, págs. 483 y 525.

(2) De Vries, *Over heet algemeen voorkomen van circulatie en rotatie in de wipfelsellen der planten. Maandblad voor Naturwetenschappen*, 1884, núm. 6.—*Ueber die Bedeutung der circulation und rotation des protoplasmas für den Stofftransport in der Pflanze Bot. Zeit.*, 1885, núms. 1 y 2.

(3) W. Gardiner, *The histology of the cell wall, with special reference to the mode of connexion of cells. Proceed. of the Roy. Soc. of London*, 1898, pág. 100.

Análogo proceso se produce en el interior de las membranas ó tabiques cribosos liberianos con los fermentos destinados á producir por transformación de la celulosa la substancia denominada *callus*.

**Estructuras celulares.**—Una de las consecuencias más importantes que resultan de la multiplicación celular con tabicación recientemente estudiada, es la estructura celular que se manifiesta en la mayoría de las plantas, y principalmente, en el embrión en vía de formación, así como en los focos de crecimiento terminales (meristemos radical, caulinar, etc.)

La *estructura* se define diciendo que es la disposición de las partes internas del cuerpo de un vegetal ó la morfología interna del sér.

La estructura puede ser *continua* ó *tabicada*: la primera es propia de la célula, así como la segunda es aneja á los vegetales pluricelulares.

Se dice *continua*, siempre que la substancia que rellena el interior del cuerpo vegetal es semejante é indivisa. Los elementos que la constituyen son precisamente los constitutivos de la célula, es decir, al exterior la membrana celular, é interiormente el protoplasma, plasmitos, jugo nuclear y núcleos, sean uno ó varios. Buen número de algas nos ofrecen ejemplos de esta estructura, que coexiste tanto con la forma exterior, *simple* ó *sencilla* (*Valonia*, *Micrococcus*, *Protococcus*, *Bacterium*), como con la *ramificada* (*Udotea*, *Caulerpa*); y en este caso, ya sea *homogénea*, es decir, cuyas ramificaciones permanecen semejantes (*Udotea*, *Vaucheria*), ya *diferenciada*, si aquéllas se hallan modificadas (*Caulerpa*).

La estructura continua tiene clásica representación en algunos hongos del grupo de los Oomicetos (*Mucor*, *Saprolegnia*, *Peronospora*).

La estructura es *tabicada* ó *celular*, siempre que la substancia que la planta contiene se halle distribuída en compartimentos ó células originadas por segmentación, y separadas unas de otras por sus tabiques respectivos. Dicha estructura caracteriza á los cuatro grandes grupos en que se han dividido los vegetales (Talofitas, Muscíneas, Criptógamas vasculares y Fanerógamas), exceptuando, claro es, las muchas plantas Talofitas (algas y hongos) que sólo manifiesten estructura continua.

Van Tieghem admite como estados intermedios entre las estructuras continua y celular, los por él denominados estructuras *articulada* y *simplástica*.

Llama *articulada* á la estructura celular cuyas células son muy largas, es decir, células con tabiques divisorios muy separados ó distanciados unos de otros. Cada una de estas células, frecuentes en varias algas (*Cladophora*), han sido designadas con el nombre de *artejos*. Dichos artejos, en algunas plantas (Higuera, Moral), están formados por filamentos ramificados, llenos de un latex que encierra numerosísimos núcleos, intercalados sin discontinuidad desde la extremidad de las raíces hasta el extremo de las hojas, en toda la masa pluricelular.

Y por fin, denomina *simplástica* á la estructura celular constituída por series de células contiguas ramificadas en todas direcciones, cuyos tabiques se han reabsorbido, y, por tanto, los protoplasmas respectivos se fusionan en uno solo. Estas células fusionadas conservan los núcleos en sus lugares respectivos, con lo cual resulta en cierto modo una retrogradación, es decir, un retorno ó retroceso de la estructura primitiva celular á la estructura continua.

El conjunto de células así fusionado recibe el nombre de *simplasto*, muy abundante en los laticíferos de la Adormidera, Campanula, Cicoreas, etc.

La misma fusión de las células desprovistas de membrana, que caracteriza los plasmodios de los hongos Mixomicetos, es ejemplo de un extenso simplasto reticulado y móvil.

**Estructura celular asociada.**—La estructura celular recibe el nombre de *asociada*, siempre que se conserve la unión de las células originadas por tabicación.

Esta proliferación de células por segmentación, constituye en su conjunto el tejido celular, que es el prototipo de estructura celular asociada que puede presentarse. Las células de este tejido se hallan unidas por la lámina media formada de pectato de calcio, y pueden ser fácilmente separadas unas de otras por procedimientos sencillos de disociación (maceración en agua sola ó acompañada de ácido clorhídrico, etc.), que se estudian en histología.

Este tejido celular, diferenciado por la división del trabajo fisiológico, da lugar á los vasos y fibras y demás elementos

anatómicos, que agrupados, todos los resultantes de una misma diferenciación, constituyen los aparatos vegetales, cuyo conjunto en el desempeño de un fin fisiológico común, determina la formación de los órganos de las plantas en general (raíz, tallo, hojas, etc.)

**Estructura celular disociada.**—Es el resultado de la separación de los elementos celulares, como consecuencia de la transformación por disolución ó gelificación de la lámina media unitiva á medida que la tabicación tiene lugar.

La estructura celular disociada puede ser *libre* ó *agregada*.

Es *libre*, si la transformación realizada en la lámina media efectuase por disolución de las substancias pécticas constitutivas, en cuyo caso los elementos celulares se separan una vez formados. Este fenómeno se presenta frecuentemente en las Desmidiáceas, Palmeláceas, Bacteriáceas y Levaduras.

Y se llama *agregada*, si la capa media se transforma por gelificación en una masa gelatinosa más ó menos espesa, que mantiene en un conjunto compacto todas las células disociadas, como sucede en el *Leuconostoc mesenteroides*, y otras algas Cianofíceas.

**Reproducción monomera.**—Una de las formas de disociación, ó uno de los modos que tienen los vegetales de multiplicarse, á consecuencia de disociaciones, es la *reproducción monomera*, llamada también *asexual*.

Sabemos que en los seres unicelulares, la disociación de las células recientemente formadas por división, si encuentran condiciones favorables para desarrollarse, originan otros individuos totalmente semejantes á sus generadores, como ocurre con las Bacterias, Levaduras, etc. Y no sólo en los seres unicelulares, sino que en los vegetales pluricelulares sucede igualmente que por mutilaciones, naturales ó artificiales, se perpetúan los caracteres de cada uno de ellos. Estas disociaciones, verdaderos actos de reproducción agama ó monomera, son ejecutadas constantemente por el hombre siempre que le convenga utilizar de los vegetales todas aquellas cualidades ó particularidades especiales que ostentan algunos de sus individuos y que se perderían por semilla.

Es más: en algunos vegetales, como ocurre en los Musgos, se forman sobre el tallo pequeñas masas pluricelulares pediceladas, fusiformes ó lenticulares, que reciben el nombre de

*propágulos*, los cuales se hallan envueltos en ocasiones, como sucede en el *Tetraphis pellucida*, por un conjunto de finas y delicadas hojas dispuestas á modo de involucre ó cáliz. Estos *propágulos*, una vez que caen al suelo, emiten filamentos protoplásmicos que originan nuevos individuos.

En suma: cuando todo vegetal procede de un simple fragmento destacado de otro sér anterior; fragmento que puede ser pluricelular y comprender todo un sistema diferenciado de partes, como ocurre en el acodo, estaca, esqueje, injerto, yemas (bulbos, bulbillos), propágulos (musgos); ó estar reducido á una sola célula (espora, zoospora), se dice que su origen es *simple ó monomero*, y su *herencia es completa*.

Estas estacas unicelulares, tan frecuentes en las Criptógamas vasculares, Muscíneas y Talofitas, se forman, según las plantas, por dos procedimientos diferentes:

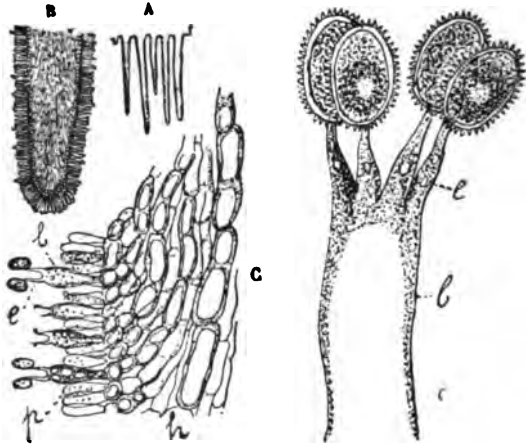
1.º Si las células diferenciadas son externas, y se destacan enteras con sus membranas celulósicas envolventes, las esporas así formadas son *exógenas é inmóviles*, como acontece en los Hongos basidiomicetos.

Las porciones fusiformes ó mazudas, que forman parte del himenio de estos Hongos, aunque de forma muy semejante, son de tres clases: unas producen las esporas sin estar nunca en contacto (*basidios*); otras son estériles (*parafisos*), y otras son más largas que los basidios y tienen por objeto mantener separadas las laminillas radiantes del aparato esporífero (*cistidios*). Los basidios, algo mayores que los parafisos, producen unas ramitas delgadas y generalmente cortas, llamadas *esterigmatos*, cuyo ápice, por gemmación, origina las nuevas células ó esporas (figs. 280 y 281).

2.º Frecuentemente las esporas nacen en el interior de una célula madre, en cuyo caso son *endógenas*. Dos modos de formación pueden ocurrir entonces: ó las células hijas se originan por divisiones ó segmentaciones repetidas del núcleo, con tabicación y desdoblamientos de los tabiques respectivos; ó bien los núcleos formados por segmentación se envuelve cada uno en su periferia de una porción de protoplasma, y revistiéndose de su membrana propia, se separa del protoplasma no empleado. La célula madre, en el primer caso, recibe la denominación de *esporangio*, y el número de células ó esporas contenidas es indeterminado (véanse figs. 67 y 262);

mientras que en el segundo lleva el nombre de *asca* ó *teta* y no encierra generalmente más que dos esporas, como acontece en la *Dispora caucasica* (véase fig. 160, *e*); cuatro, como en los hongos (*Tuber*, *Saccharomyces*) (véase fig. 260, 3), ú ocho, como sucede en el género *Peziza* (véase fig. 261).

Si las células hijas, antes de salir del esporangio ó del asca, se hallan recubiertas de una capa celulósica, las esporas son *inmóviles*, como acontece en algunos hongos (Mucoráceos, Ba-



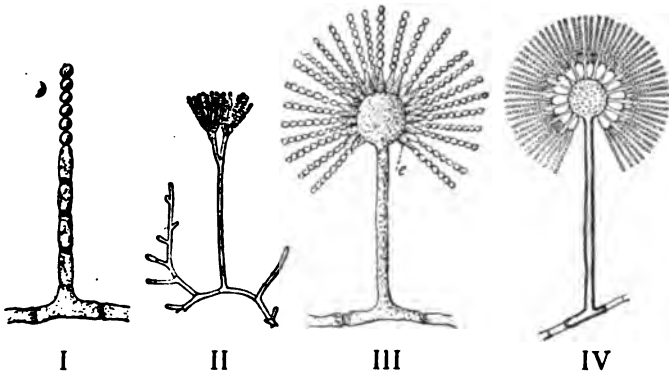
Figs. 280 y 281.—I. Secciones de las láminas himeniales del aparato esporífero de *Balliota campestris*: A, corte transversal de varias láminas (tamaño natural); B, una lámina vista con mayor aumento, en la que se percibe el revestimiento de basidios y parasifos; C, corte más amplificado de un fragmento en la lámina; b, hifas del himenio; p, parasifos; b, basidios; e, esterigmatos que llevan las esporas.—II. Basidio del *Corticium amorphum*; b, basidio; e, cuatro esterigmatos con esporas espinulosas.

sidiomicetos y Ascomicetos) y algas (Rodofíceas) (véase figuras 67, 261 y 296, A, B y C). Pero si las células están formadas al disociarse de la célula madre, de una delgada membrana albuminoidea que se prolonga por uno ó varios puntos, de cirros ó pestañas vibrátiles, entonces nadan y se mueven fácilmente en el agua, y atendiendo á este carácter reciben el nombre de zoosporas, como ocurre en los hongos (Saprolegniáceas (véase fig. 262) y Quitridiáceas), y algas (Sifonáceas, Conferváceas, Feosporidas y Cutlériidas) (véase fig. 212).

En las esporas que han de pasar al estado de vida latente, la cubierta celular está formada de dos capas, una exterior cutinizada y generalmente coloreada (*exospora*), y otra interna, que generalmente permanece celulósica é incolora (*endospora*). Por germinación aquélla se rompe, y ésta se prolonga en tubo ó filamento que por tabicación constituye el nuevo sér, ú otro cuerpo pluricelular intermediario.

Las esporas pueden referirse á tres grupos: *esporas fundamentales*, *esporas de paso*, y *esporas accidentales*.

Las *esporas fundamentales*, ó simplemente esporas, son cé-



Figs. 282 á 285.—Aparatos conidiferos.—I. Conidios del *Erysiphe* dispuestos en simple cadena moniliforme.—II. Conidios del *Penicillium crustaceum*, formando un pincel de cadenillas dispuestas como la anterior.—III. Conidios en cadenillas del *Aspergillus glaucus*, originados por numerosas ramitas e en forma de botella (esterigmatos) colocadas sobre una esfera ó maza en que termina el filamento conidióforos.—IV. Conidios en cadenillas moniliformes del *Sterymatocystis nigra* sobre filamentos conidiferos rectos é inflados en su extremidad en esfera, la cual está erizada de esterigmatos que se ramifican cada uno en cuatro esterigmatos secundarios, los cuales son soportes de los conidios en cadenilla.

lulas á expensas de las cuales se produce directamente un individuo análogo á aquél de que proceden (muchas Talofitas).

Las *esporas de paso* ó *diodos* son células que no originan el sér adulto, sino que dan lugar á un cuerpo pluricelular (Criptógamas vasculares, Muscíneas, algas Rodofíceas), que sirven de intermediario en la formación de la planta adulta. Este cuerpo en las Rodofíceas constituye frecuentemente un sistema filamentososo, sobre el cual los nuevos individuos se-

xuales se organizan por gemmación, de un modo semejante á lo que ocurre en las Muscineas con el *protonema*; mientras que en las Criptógamas vasculares produce el diodo por germinación una capa simple de células llamado *protalo*, en el cual se forman independientemente los órganos masculinos y femeninos.

Las *esporas accidentales*, llamadas en general *conidios*, son células exógenas que se producen en las plantas y coexisten con las esporas que caracterizan la planta ó el grupo á que ésta pertenece. Su formación está subordinada á las condiciones nutritivas del medio en que se desenvuelve el vegetal; por esto, sobre un mismo talo, pueden producirse varias clases de conidios.

Estos conidios en general se disponen en serie lineal, formando cadena (*Erysiphe*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Sterygmatocystis*) (figs. 282 á 285); pero otras veces son solitarios, y se aíslan ó destacan de los filamentos conidíferos en el momento de constituirse, como sucede en el *Claviceps purpurea*, Tul.

Y ya que hacemos mención de este interesantísimo hongo Pirenomiceto, indicaremos brevemente las fases tan diferentes que atraviesa y que con nombres diversos han sido denominadas por algunos naturalistas, por suponerlas estados definitivos ó especies totalmente distintas.

Dicho hongo vive sobre los ovarios y semillas de diversas gramináceas, principalmente sobre el centeno, dando lugar á la enfermedad que recibe el nombre de *cornezuelo*, aludiendo á la forma córnea que adquiere en su segundo estado.

Primera fase (*Sphacelia*, Lev.; *Sacculus*, Fée).— Consiste en un micelio filamentoso que se desenvuelve en la superficie del ovario, formando un estuche pseudo-parenquimatoso blanquecino, mientras se halla cubierto por las glumas; penetra después en el espesor de sus paredes, y sustituye lentamente al tejido del ovario sin deformarlo, el que conserva en su cima los restos del estigma bífido y plumoso.

La superficie, profundamente excavada ó surcada, y que en razón al aspecto gangrenoso recibe el nombre de *Sphacelia*, produce al poco tiempo filamentos radiales numerosos, íntimamente unidos (fig. 286), los que por tabicaciones transversales repetidas por sus extremos libres, originan, al comenzar el verano, multitud de conidios (de 5 á 7 milímetros de longi-



tud) sumérgidos en el jugo mucilaginoso trasudado por el talo, á consecuencia de la baja temperatura de la noche.

Estos conidios transportados por la lluvia ó los insectos á otras plantas, germinan y producen *conidios secundarios* que al desarrollarse sobre las glumas producen la nueva *Sphacelia*.

Este estado fué conceptuado por Leveillé como un sér distinto, y á esto responde el nombre de *Sphacelia segetum* que le designó.

Segunda fase (*Esclerocio*, *Sclerotium*, Tode).—El micelio de

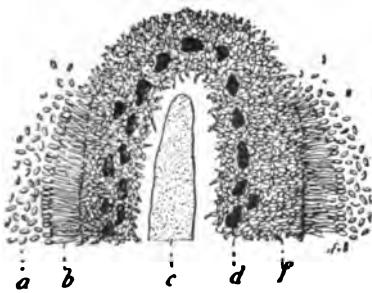


Fig. 286.—Corte transversal del ovario del centeno, casi completamente reabsorbido por el *Claviceps purpurea*.—*a*, conidios; *b*, filamentos conidíferos; *c*, rudimento del óvulo; *d*, restos del carpelo, en su mayor parte digerido por el talo del parásito *f*.

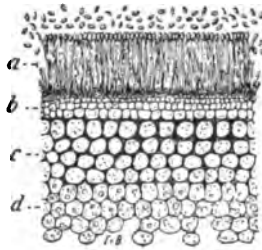


Fig. 287.—Corte transversal de la porción periférica de un esclerocio joven.—*a*, filamentos conidíferos superficiales; *b*, pseudo-parénquima de pequeñas células; *c*, pseudo-parénquima de células más anchas con membranas negruzcas (capa protectriz); *d*, pseudo-parénquima interno, encerrando en cada una de sus células, plasmitos, gotitas de grasa, granulaciones de glucógeno, etc.

la *Sphacelia* se endurece poco á poco en la región basilar del ovario y forma un fieltro muy apretado, cuya zona periférica adquiere una tinta violado-negruzca y típica del cornezuelo, sobre la cual persisten todavía los restos caducos de la capa conidífera (fig. 287), mientras que la región apical ó porción superior de la *Sphacelia*, todavía blanda, subsiste algún tiempo en el vértice del cornezuelo originado (fig. 288). A los dos meses se nota un rápido crecimiento, y recto ó encorvado, llega á la madurez alcanzando la longitud de dos á tres centímetros.

Esta porción tan visible del esclerocio, y que es conocida con el nombre vulgar de cornezuelo, fué considerada por De Candolle como un sér distinto, y de aquí la denominación de *Sclerotium Clavus* que le aplicó.

Tercera fase (*Sphaeria, Claviceps*, Tul.)—Destacado el esclerocio de la espiga, cae al suelo y pasa el invierno al estado de vida latente, hasta la próxima primavera.

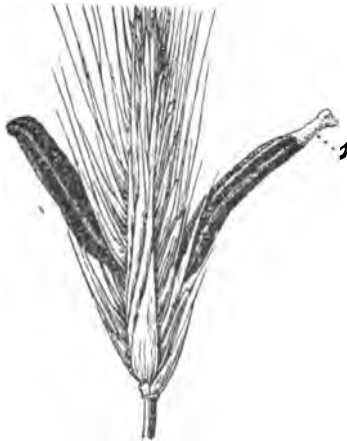


Fig. 288.—Parte inferior de una espiga de centeno con dos cornezuelos ó esclerocios; el de la derecha conserva todavía en su parte caduca, blanquecina y pseudo-parenquimatosa de la *Sphaeria*.

Cuando en esta época las condiciones de humedad y temperatura son favorables, germina á expensas de las reservas albuminoideas é hidratos de carbono que contienen sus células (1), y á consecuencia de esta actividad ó proceso funcional digestivo, el parénquima, situado inmediatamente debajo de la capa negra periférica llamada protectriz (véase fig. 287), multiplica localmente sus células ocasionando emergencias, que, creciendo rápidamente, rompen

la capa protectora. Los mamelones libres, así constituídos, en un principio sentados y blanquecinos, adquieren después coloración purpúrea, se hallan sostenidos en la madurez por pedicelos violados é interiormente formados por un pseudo-pa-

(1) Las células internas del cornezuelo, redondeadas en sección transversa y alargadas en sección longitudinal, encierran abundante contenido protoplásmico, sembrado de plasmitos, rico en albuminoides en reserva y provisto además de una ó dos gotas oleaginosas por célula. Entre los principios contenidos, podemos enumerar: la trehalosa, un alcaloide cristalizable llamado *ergotininina*, la ergosterina, cuerpo ternario análogo á la colesteroína, y además sales minerales, principalmente fosfatos.

La *ergotininina* ejerce poderosa acción sobre los nervios vaso-motores, pues contrayendo los capilares, provoca una paralización en la circulación sanguínea: de aquí el empleo medicinal del polvo de cornezuelo como *hemostático*.

rénquima carnooso llamado *estroma*, de consistencia comparable al esclerocio (fig. 289).

Estudiados detenidamente estos mamelones ó cabezas pedi-



Fig. 289.—Esclerocio al fin de la germinación con aparatos esporíferos.



Fig. 290.—Aparato esporífero seccionado, dejando ver las peritecas *a* afectando la forma de botella.

celadas, se observan en su superficie pequeñas granulosis, cada una de las cuales se halla horadada en su vértice de un estrecho canalillo que da acceso á un conceptáculo interior en

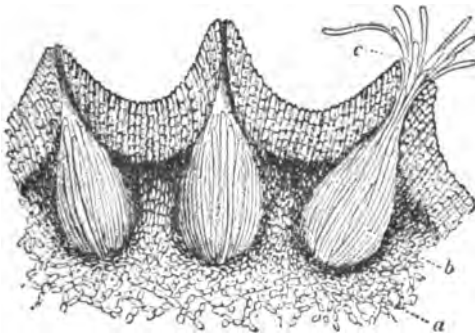


Fig. 291.—Sección de un fragmento del aparato esporífero encerrando tres peritecas, visto con mayor aumento.—*a*, talo pseudo-parenquimatoso llamado *estroma*; *b*, grupo de ascas aciculares y mazudas en el seno de las cuales se forman las esporas filiformes; *c*, orificio de la periteca.

forma de botella, que es una *periteca* (fig. 290). Las peritecas (fig. 291) están rellenas de ascas alargadas, encerrando cada una ocho esporas lineales, que escapándose por el vértice, en

comunicación con el orificio de salida de la periteca, vuelven á producir la enfermedad, si caen sobre las flores del centeno ó de otras gramináceas.

La naturaleza y desarrollo de esta fase, así como de las anteriores, ha sido admirablemente estudiada por M. Tulasne (1), el que denominó á toda la especie con el nombre de *Claviceps purpurea*, Tul., con el que hoy se la distingue, en vez de *Sphaeria (Cordiceps) purpurea*, Fr.

(1) Tulasne (L. R.), *Mémoire sur l'ergot des glumacées* (*Ann. des Sc. natur.*, tercera serie, XX, 1853, págs. 5, 56, pl. 1, 4).

## SECCION SEGUNDA

### CONJUGACIÓN

#### CAPITULO PRIMERO

##### GENERALIDADES SOBRE LA CONJUGACIÓN—REPRODUCCIÓN DÍMERA—ANTEROZOOGÉNESIS Y OOGÉNESIS—FECUNDACIÓN EN LAS TALOFITAS

*Conjugación ó fecundación* es el acto por el cual dos células distintas, pertenecientes á una misma especie, se fusionan para formar otra llamada *huevo*, que portadora de una fecundísima segmentación, es al mismo tiempo conservadora de los atributos de la especie.

**Generalidades.**—La conjugación es el procedimiento generativo más especial al cual recurre la naturaleza, no sólo para conservar los atributos de la especie, según hemos dicho, sino también para transmitir las cualidades de los progenitores, y aumentar la facultad reproductora asexual agotada por exceso de tantas divisiones celulares sucesivas, acompañadas ó no de disociación.

Maupas ha demostrado, después de numerosas experiencias realizadas en los infusorios ciliados, que la división celular acompañada de disociación observada en ellos, no es indefinida, como antes se creía, sino que en cada nueva división la facultad reproductora disminuye más y más, hasta llegar á un término de agotamiento en que los individuos son incapaces de reproducirse; por cuya razón, y para que aparezca de nuevo aquella facultad, es forzosa la conjugación, con la cual se rejuvenecen, por decirlo así, los individuos con este mutuo consorcio de substancias, y pueden seguir funcionando por divisiones sucesivas numerosas generaciones.

Así se comprende que una vez agotada la extraordinaria fecundidad que despliega el huevo por segmentación para ori-

ginar el crecimiento limitado de los seres pluricelulares, éstos recurran á la fecundación, con la cual engendren nuevas células capaces de continuar aquel proceso evolutivo.

**Fenómeno preparatorio. Reproducción dímica.**—En la mayor parte de los vegetales, además de la reproducción monómera, que no es otra cosa, después de todo, sino la continuación de las propiedades ó cualidades individuales de todo sér, existe otro procedimiento especialísimo que, sirviendo de fenómeno preparatorio para la fecundación, establece una barrera entre la planta antigua y la planta nueva.

Este procedimiento recibe el nombre de *dímero*, porque de ciertos órganos más ó menos diferenciados de los individuos hermafroditas, así como de los individuos masculino y femenino, se disocian células especiales ó células reproductoras encargadas, como porciones aisladas, de intervenir en el proceso de la conjugación ó fecundación.

Estas células singulares, separadas de igual modo que las destacadas naturalmente por reproducción monómera, se diferencian de éstas, porque no pueden vegetar por sí solas; pues si bien sus membranas envolventes no son celulósicas, y, por tanto, pueden ser móviles como las zoosporas, en cambio, si se mantienen aisladas, no se recubren de celulosa, permanecen estériles y se destruyen al poco tiempo. Por eso la finalidad de estas células es atraerse, unirse y fusionarse entre sí, constituyendo el fenómeno de la conjugación.

Al hablar de los caracteres diferenciales entre la segmentación y fecundación, hubimos de notar, cómo uno de los distintivos de más sobresaliente atención (véase pág. 467), que en la conjugación el número de cromosomas ó fragmentos cromáticos que ofrecen las células ó núcleos antes de conjugarse, es siempre mitad del número en que, según las especies, se divide el núcleo en la proliferación por segmentación de las distintas células constitutivas del sér.

Estas células ó individuos polares que presentan los caracteres indicados y que intervienen en la conjugación, se denominan *gametos*.

Los gametos se distinguen de las zoosporas en que, además de las diferencias arriba expresadas, siempre son de menor tamaño y sólo tienen dos pestañas; mientras que las zoosporas de las algas están provistas de un número variable: dos (*Mo-*

*nostroma*), cuatro (*Ulothrix*), varias (*Edogonium*), ó muchísimas cubriendo por completo la superficie (*Vaucheria*) (véase fig. 212).

En los seres sencillos, principalmente Talofitas, la asociación de estos gametos polares masculino y femenino, ó sea la penetración, fusión ó combinación de los protoplasmas y núcleos respectivos, constituye el fenómeno de la *conjugación* ó *fecundación*. El producto de esta fusión ó síntesis, llamado *huevo*, es una célula nueva, cuya membrana no tarda en cubrirse de una capa de celulosa, y cuyo núcleo, no sólo se reintegra del número normal de fragmentos cromáticos, sino que es foco de una fecundísima segmentación carioquinésica que da por resultado la vastísima proliferación de los seres.

Que en el huevo hay realmente combinación y no simplemente mezcla de gametos, lo demuestra el hecho, según Van Tieghem, de la contracción progresiva que se opera durante la fusión, por la cual el volumen del huevo es siempre menor que la suma de los volúmenes de sus componentes.

**Distinción entre planta ó individuo.**—El huevo de origen dímero difiere profundamente de la espora que tiene origen monómero; por consiguiente, para diferenciar con fundamento el origen de los vegetales, procedan de una disociación monómera simple, ó de una disociación doble seguida de reasociación dímera, Van Tieghem propone se aplique el nombre de *planta* á lo que proceda de un huevo, é *individuo* á todo cuerpo vegetal íntegro, tal cual se nos presenta en un momento dado.

De un individuo á otro, el lazo de unión es una pura relación con disociación; pues siendo ésta un fenómeno variable y secundario, la semejanza entre los diversos individuos de una planta es absolutamente la misma que entre las diversas partes de un solo y mismo individuo: la herencia de los individuos es completa, y se pueden simultáneamente tomar uno por otro. Por el contrario, de una planta á otra no hay duda que hay también relación, puesto que los protoplasmas, plasmitos y núcleos de los gametos, forman el huevo; pero esta relación presenta una particularidad notable. Basta considerar que en la combinación del huevo se integran dos partes destacadas de individuos diferentes, para que surjan y deban nacer propiedades nuevas, y puedan y deban desaparecer por neutralización propiedades antiguas; de modo que de una planta á otra la herencia es incompleta. La suma de estas ganancias y de estas pérdidas es precisamente lo que constituye el carácter propio y peculiar de la planta conside-

rada; lo que la distingue de aquélla de donde procede, y de las que produzca por el mismo procedimiento que ella se originó; lo que constituye, en una palabra, en la serie de generaciones, una unidad especial que no puede jamás identificarse con las otras unidades semejantes.

**Anterozoogénesis y oogénesis.**—El organismo de los seres pluricelulares, tanto animales como vegetales, se puede dividir teóricamente en dos partes, cuyas finalidades fisiológicas son absolutamente distintas. La primera preside al sostenimiento de la vida, es la *porción somática* propia del individuo; la segunda afecta á la continuación de la especie, es la *porción reproductora sexual*.

En los vegetales inferiores (ciertas algas y buen número de hongos), no hay distinción posible entre la parte somática y reproductora del cuerpo. *El soma mismo es generativo*.

Pero en los vegetales superiores, á consecuencia de la división del trabajo fisiológico, las células que constituyen sus organismos se dividen en dos categorías. Unas forman el *soma*, ó sea el conjunto de tejidos y aparatos nutritivos, y reciben el nombre de *somáticas*; las cuales, conservando la facultad reproductora de los seres inferiores, se multiplican por división, dando lugar á la proliferación celular del sér. Otras especializan ó guardan en sí la facultad reproductora por conjugación, tienen la mitad de fragmentos cromáticos que las anteriores, se forman en aparatos especiales llamados de reproducción, tanto más diferenciados cuanto más complicación manifiesta el sér, y son denominadas células *sexuales* masculinas ó femeninas.

Ahora bien: así como en los animales la *espermatoogénesis* origina los espermatozoos masculinos, pasando por diferentes órdenes carioquinésicos, siempre con reducción mitad de cromosomas que las células somáticas, cuales son: 1.º, *espermatoogonias*; 2.º, *espermatoocitos de primer orden*; 3.º, *espermatoocitos de segundo orden*; 4.º, *espermatoogémmenes*; y 5.º, *espermatozoos*; y la *ovogénesis*, para engendrar el verdadero óvulo, sigue análogamente los procesos mitósicos que determinan: 1.º, las *ovogonias*; 2.º, *ovocitos de primer orden*; 3.º, *ovocitos de segundo orden*; y 4.º, los *glóbulos polares*, de los cuales el mayor es el *óvulo*, de modo que el gameto macho es de una generación superior al gameto hembra; así también en las



plantas superiores fanerógamas angiospermas, los fenómenos de maduración de las células sexuales siguen, según Guignard (1), las mismas fases ó períodos; puesto que para producir el *anterozoide*, el núcleo de la célula madre del polen sufre *cuatro* biparticiones carioquinésicas sucesivas, resultando ser dicho anterozoide, una célula de *quinta* generación en relación á aquélla; al paso que para originar la *oosfera*, el núcleo de la célula madre del endospermo experimenta sólo *tres* biparticiones, de modo que dicha oosfera es una célula de *cuarta* generación con relación á su célula madre.

No hay, por tanto, entre los gametos macho y hembra, homología perfecta: el gameto macho es de una generación superior al gameto hembra.

### 1.—Fecundación en las Talofitas.

Las *Talofitas* son plantas celulares, sin raíces, tallos, hojas ni flores; constituidas por un órgano uni ó pluricelular, llamado *talo*, encargado de la fijación, sostenimiento y de todas las funciones de nutrición; reproducción asexual por esporas (diodos, esporas propiamente dichas, conidios), y sexual por isogamia ó heterogamia, según que respectivamente se realice mediante dos sexos iguales, llamados *gametos*, ó por un órgano masculino (*anteridio*), y otro femenino (*oogonio*), cuyo contenido *oosfera* recibe la fecundación y se convierte después en un germen ó *huevo*, que suele designarse con el nombre de *gametospóra*.

La existencia ó ausencia de la clorofila en el talo, y cuyas funciones son conocidas, sirve, en unión del género de vida, para distinguir las dos clases, *algas* y *hongos* respectivamente, en que se divide este tipo tan interesante.

La fecundación de estos seres tan sencillos, se reduce simplemente, como en todos los vegetales, aun los más complicados, á la fusión de los gametos masculino y femenino, sea cualquiera el nombre que éstos reciban. Esta fusión va cons-

(1) L. Guignard, *Nouvelles études sur la fécondation: comparaison des phénomènes morphologiques observés chez les plantes et chez les animaux*. *Ann. des Sc. nat. Bot.*, séptima serie, XV, 1891.

tantemente acompañada de contracción progresiva del huevo, cuyo volumen, como es sabido, es menor que la suma de los volúmenes de sus componentes.

Dicha célula-huevo no tarda en cubrirse de una capa de celulosa, y de originar en su desarrollo la proliferación consiguiente al tipo específico á que corresponde. Su formación tiene lugar cuando las condiciones nutritivas son desfavorables; estas células-huevos ó gametosporas en estado latente pueden resistir más ó menos, á semejanza de las esporas, el medio en que se encuentran.

La formación del huevo en estas plantas puede celebrarse por *isogamia* y por *heterogamia*.

Se dice que la conjugación es *isogámica* cuando la asociación dímica, que engendra el huevo, se realiza entre dos gametos semejantes ú homogéneos aparentemente; y decimos aparentemente porque aun cuando la ciencia no ha delatado las diferencias, es racional sean distintos ambos elementos polares, copartícipes en la fecundación.

Los gametos, en este caso, pueden ser *móviles* y *libres*, ó *cautivos* é *inmóviles*.

**Gametos libres.**—Como ejemplos de este modo de conjugación por gametos libres, pueden citarse entre las algas los géneros *Monostroma*, con talo constituido por un *plano* de células, y el *Schizogonium*, con talo formado por un *filamento* simple, tabicado transversalmente.

Una célula del filamento (*Schizogonium*) ó de la lámina (*Monostroma*) divide varias veces su núcleo hasta producir 16 ó 32, con sus tabicaciones respectivas. Desdoblados los tabiques albuminoideos, y aisladas tantas células hijas cuantas se hayan formado, y desprovistas de celulosa, se escapan por un orificio lateral, practicado en la membrana primitiva, y salen al exterior los gametos. Estos son piriformes, provistos por delante de un punto rojo y de dos cirros vibrátiles (figura 292).

Aislados estos corpúsculos, perecen; reunidos, se fusionan, se combinan protoplasma á protoplasma, y núcleo con núcleo, y producen cuerpos con dos puntos rojos y cuatro cirros. Estos se mueven durante algún tiempo; después pierden sus cirros, se envuelven de una membrana de celulosa y pasan al estado de vida latente. Estos son los *huevos*.

La isogamia, con gametos libres, es el modo más sencillo de formación del huevo.

Dicho procedimiento es seguido en otras muchas algas, ya tengan estructura continua (*Botrydium*, *Acetabularia*, *Bryopsis*, etc.), estructura articulada (*Cladophora*) ó estructura celular (*Ulva*, *Laminaria*, etc.); bien manifiesten coloraciones pardas (*Laminarias*, *Ectocarpus*, etc.) ó verdes (*Cladophora*).

**Gametos caulivos.**—La conjugación con gametos inmóviles se realiza en las algas (*Zigogonium*, *Mesocarpus*, *Spirogyra*) y en los hongos oomicetos (Mucoríneas).

En las algas se distinguen los *Zigogonium* de las *Spirogyras*, porque las primeras tienen los cloroplastos estrellados, y las segundas espirales.

El *Mesocarpus* presenta en cada célula, á lo largo de su eje, un cloroplasto laminar.

Los *Zigogonium* son algas verdes que viven sobre la tierra húmeda, y cuyo talo está formado por un filamento celular tabicado transversalmente. Dos de estos filamentos se aproximan y disponen paralelamente.

Bien pronto, de dos células respectivas á cada uno de los filamentos, una enfrente de otra, surgen dos protuberancias laterales que se alargan hasta encontrarse. El protoplasma de cada una de las células se contrae y se condensa en elipsoide alrededor del núcleo, expulsando progresivamente á la periferia todo el jugo celular contenido á medida que la masa protoplásmica se hace más compacta en el centro de las células: éstos son los gametos. La membrana de celulosa se reabsorbe en el extremo de las dos prominencias puestas en contacto, y constitúyese un canal de comunicación. Los dos gametos entonces caminan en dirección del canal establecido, y encontrándose en la mitad del camino, se penetran y combinan protoplasma con protoplasma y núcleo con núcleo. El huevo, resultado de esta sín-

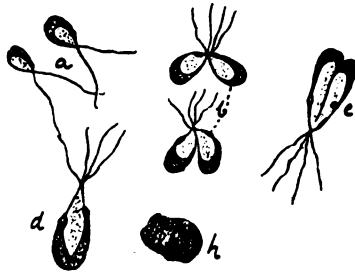


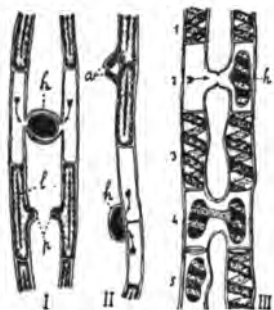
Fig. 292.—Formación del huevo por isogamia.—Gametos de *Monostroma bullosum*.—*a*, gametos ciliados semejantes; *b*, su fusión pico con pico; *c*, fusión longitudinal; *d*, fusión completa; *e*, huevo

tesis, se envuelve de una membrana de celulosa, y el volumen apenas es mayor que el respectivo á uno de los gametos.

No cabe duda, como dice muy bien Van Tieghem, que esta contracción, realizada en el momento de la fusión, es una prueba evidente de que no es una simple mezcla, sino una verdadera combinación entre los elementos generadores no visiblemente diferenciados.

En el *Mesocarpus parvulus* la fecundación ó formación del

huevo se realiza del modo indicado en el *Schizogonium* (figura 293, I), mientras que en el *Mesocarpus pleurocarpus* puede constituirse el huevo lateralmente por la fusión de dos protoplasmas respectivos á protuberancias celulares correspondientes al mismo filamento del talo, que en este caso tiene el carácter de *monóico* (figura 293, II).



Figs. 293 á 295. —Formación del huevo por isogamia. —I, *Mesocarpus parvulus*: *b*, huevo; *p*, protuberancias celulares iniciales, preparándose para a formación del huevo; *l*, lámina clorofílica axial (vista de perfil). —II, *Mesocarpus pleurocarpus*: *b*, huevo formado lateralmente; *a*, principio de formación. —III, *Spirogyra varians*: 1 y 3, células vegetativas; 2, célula que ha efectuado la conjugación; *b*, huevo encerrado de su membrana celulósica; 4, célula efectuando la conjugación; 5, célula dispuesta para la conjugación.

Las *Spirogyras* establecen en la conjugación una transición hacia la heterogamia. En efecto: uno de los gametos invade y camina solo por el canal establecido del modo antedicho, y precipitándose en la célula opuesta, se fusiona con el protoplasma y núcleo de ésta, originando dentro de ella el huevo. Aquí uno de los gametos puede ya considerarse como masculino en atención á que

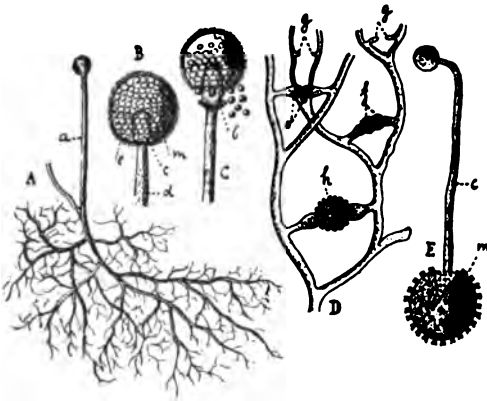
sólo él recorre la distancia que le separa del femenino, como sucede á los anterozoides (fig. 293, III).

En los hongos oomicetos, *mohos* por ejemplo (*Mucor mucedo*), la conjugación isogámica se verifica del siguiente modo:

Dos ramos del talo crecen uno hacia el otro, hasta ponerse en contacto; después las membranas de las dos células se gelatinizan y disuelven en los puntos de comunicación, y sus

contenidos se fusionan como ya sabemos. Esta célula-huevo así formada, ha recibido el nombre de *zigote* ó *zigospora* (fig. 296, D).

**Heterogamia.**—Se dice que la formación del huevo es *heterogámica*, cuando la asociación dímica se realiza entre dos gametos heterogéneos ó distintos en volumen y en constitución. Uno de ellos es más grueso, porque además del protoplasma fundamental y de su núcleo respectivos, encierra en sí todas las sustancias de reserva necesarias á los primeros



Figs. 296 á 300.—*Mucor mucedo*.—*Formación de esporas.*—A, micelio constituido por una gran célula muy ramificada, sin tabiques y con numerosos núcleos: a, filamento esporangífero.—B, esporangio aumentado: e, esporas; m, membrana erizada de agujas de oxalato de cal; c, columnilla; d, parte superior del filamento esporangífero.—C, esporangio diseminando las esporas; b, base del esporangio.—*Formación del huevo por isogamia.*—D, porción del micelio aumentado para observar la formación de los huevos (gametosporas): g, principio de formación: dos ramitas infladas en sus extremos crecen, una hacia la otra, hasta encontrarse; o, ramas en comunicación; f, fusión de los gametos; b, huevo ó gametospora con papilas verrucosas.—E, germinación del huevo, dando lugar á un filamento terminado por una cápsula ó diodangio (encerrando esporas de paso): m, membrana verrucosa, e, membrana celulósica prolongada en tubo.

desarrollos del huevo; esta circunstancia le inhabilita para la movilidad, y, por tanto, no cambia de lugar, en el proceso de la conjugación: es el *gameto femenino*, llamado también *oosfera*. El otro es más pequeño, pues está reducido sencillamente al protoplasma fundamental y á su núcleo, y es el que reco-

rré el camino que le separa del anterior: es el *gametò masculino*, denominado también *anterozoide*.

Para formar el huevo por heterogamia, las Talofitas emplean dos procedimientos diferentes: 1.º, combinación de un anterozoide libre con una oosfera, como en las Criptógamas vasculares y Muscíneas; y 2.º, penetración en la oosfera de una porción no diferenciada é inmóvil del protoplasma encerrado en un anteridio.

α. **Formación del huevo por anterozoide y oosfera.**—Consideremos, para estudiar esta conjugación, tres ejemplos tomados de las algas:

1.º Supongamos un *Edogonium*, alga verde que vive en las aguas estancadas dulces, cuyo talo se compone de un filamento simple transversalmente tabicado, terminado en el vértice por un pelo hialino, y fijo en la base por un asidero ramoso.

Ciertas células del filamento, más cortas y menos ricas en clorofila que las otras, unas veces aisladas, otras superpuestas hasta diez y doce, constituyen otros tantos *anteridios* (órganos masculinos). Cada una de ellas se divide por un tabique longitudinal en dos células madres que producen cada una un anterozoide; estos dos anterozoides son puestos en libertad merced á una hendidura circular de la membrana que se abre á la manera de una caja. Dichos anterozoides, formados cada uno por todo el protoplasma de la célula condensado alrededor del núcleo, tienen una forma ovoidea, y se mueven en el agua auxiliados por una corona de cirros vibrátiles que bordea la extremidad anterior. El núcleo se localiza en la región posterior, y la central está ocupada por un hidroplasmito. En las células madres están dispuestos transversalmente, la extremidad ciliada hacia fuera, y la opuesta, ocupada por el núcleo, hacia dentro.

Para formar la oosfera, una de las células del mismo filamento se hincha, toma la forma esférica ú ovoidea, y se rellena de un contenido más abundante que las otras. El protoplasma se condensa en la parte inferior alrededor del núcleo, y origina la oosfera, en el interior de la cual los cloroplasmitos están fuertemente apretados. La célula madre de la oosfera se llama *oogonio*. En la membrana del oogonio se forma lateralmente un agujero ovalado, y la parte de la oosfera gelatinosa é hialina

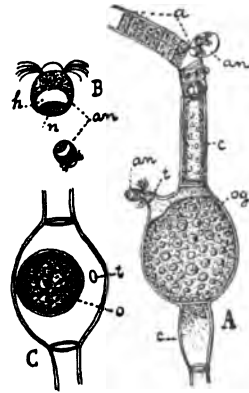
constituye un saliente en forma de hernia en éste orificio (figura 301, A y B).

Llegado este momento, los anterozoides verdes nadan en el líquido, y atraídos por las corrientes difusivas que parten de esta hernia mucilaginoso, se dirigen hacia ella, y retenidos por el mucílago, penetran en la oosfera por retracción de la hernia. Una vez en la oosfera, el anterozoide se combina con ella, y de los dos cuerpos confundidos y fuertemente contraídos, se forma el huevo. Este se cubre bien pronto de una capa de celulosa que más tarde se cutiniza y se colora. Y, por último, encerrado en la membrana del oogonio, que se separa de las células vecinas del filamento, cae al fondo del agua, donde el huevo pasa un largo período de vida latente (fig. 301, C).

2.º En las Fucáceas, llamadas vulgarmente sargazos (*Fucus platycarpus*, *vesiculosus*), el gameto macho, ó anterozoide, tiene dos cirros, y el gameto hembra es también una oosfera inmóvil.

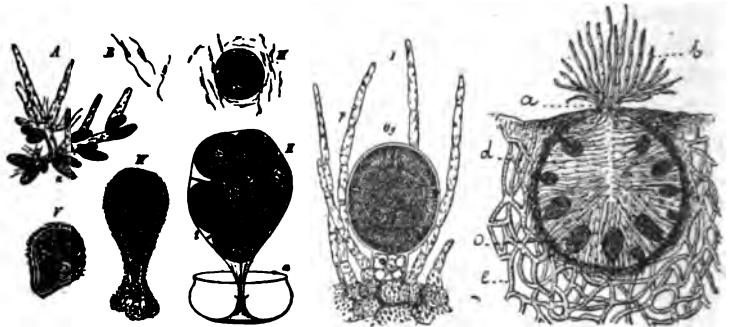
En estas algas pardas, los gametos masculinos y femeninos toman origen en las hinchazones terminales de los ramos del talo. Estas hinchazones ó mamelones están sembrados de pequeñas bolsas ovoideas, *criptas* ó *conceptáculos*, tapizadas de numerosos pelos celulares estériles, llamados *parafisos*, algunos de los cuales salen ó emergen fuera del orificio en forma de pincel.

En el *Fucus platycarpus*, que es hermafrodita, entre dichos parafisos se hallan agrupados, cerca del orificio del conceptáculo, filamentos ramosos fértiles que producen cada uno un cierto número de *anteridios*, que son simples células ovales ó



Figs. 301 à 303.—Formación del huevo por heterogamia en el *Edogonium tumidulum*. —A, formación y salida de dos anterozoides *an*, por cada célula del anteridio *a*; *e*, células vegetativas: penetración de un anterozoide *an* atraído por el tapón mucilaginoso segregado por el orificio *t* del oogonio *og*. —B, anterozoides observados con más aumento: *n*, núcleo; *b*, hidroplastos. —C, huevo contraído *v*, con su membrana de celulosa, en el interior del oogonio perforado en *t*.

ramos unicelulares de los filamentos. En su interior, por multiplicación del núcleo y diferenciación del protoplasma, se forman sesenta y cuatro *células madres*, que son otros tantos *anterozoides*, los cuales salen al exterior por rotura brusca de la pared y nadan en el líquido ambiente. Estos anterozoides son piriformes, y además de su núcleo, están provistos lateralmente de un corpúsculo rojo anaranjado, de origen citoplásmico, que forma un relieve, sobre el cual salen dos cirros vibrátiles: el anterior, relativamente corto, sirve de remo, y el posterior, muy alargado, de timón. Dichos anterozoides nadan



Figs. 304 á 309.—Formación del huevo por heterogamia en el *Fucus vesiculosus*.—A, pelo ramoso cubierto de anteridios *a*.—B, anterozoides libres.—I, oogonio *og* tabicado en ocho células hijas ú oosferas; *p*, paraísos.—II, oogonio con las ocho oosferas diferenciadas y redondeadas: la capa interna del oogonio se desdobra en dos capas, de las cuales la externa *a* se rompe en forma de cúpula y la interna *i* lo efectuará más tarde para dar salida á las oosferas.—III, oosfera libre cercada por numerosos anterozoides moviéndose á su alrededor.—IV y V, germinación del huevo.

Fig. 310.—Corte de un conceptáculo femenino del *Fucus vesiculosus*.—*a*, orificio del conceptáculo; *b*, pincel exento de paraísos; *d*, paraísos internos; *o*, oogonios con sus oosferas; *e*, talo con los filamentos ó hifas gelificadas.

girando sobre sí mismos, y avanzan según su eje con movimiento de tirabuzón. En los talos de los sargazos retirados fuera del agua, se agrupan los anterozoides en los orificios de los conceptáculos, formando una especie de gelatina de color anaranjado (fig. 304, A y B).

En estos mismos conceptáculos con anteridios, ó sea en las especies hermafroditas (*Fucus platycarpus*), otros filamentos



que ocupan el fondo del conceptáculo se diferencian en organitos femeninos ú *oogonios*, colocados sobre un pie unicelular corto, y provistos en la madurez de *ocho oosferas* pardas y relativamente gruesas. Estas oosferas, aprisionadas en un principio bajo una membrana hialina (fig. 304, I), una vez disuelta ésta y libres aquéllas, salen todas por el orificio del conceptáculo (fig. 304, III).

Los anterozoides ya maduros que nadan en el líquido, se unen á las oosferas, transformando éstas en huevos, que envueltos de sus membranas celulósicas respectivas se desarrollan más ó menos tarde en nuevas plantas (fig. 304, IV y V).

En los sargazos dióicos (*Fucus vesiculosus*), ciertos talos producen sólo conceptáculos con anteridios, y otros distintos, conceptáculos con oogonios (fig. 310). Los talos de estas especies dióicas están provistos de hinchazones ovoideas rellenas de aire, que representan los flotadores de la planta.

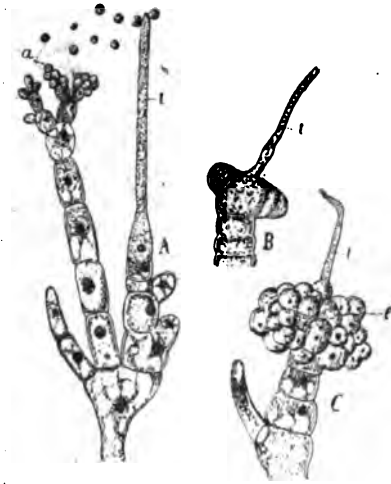
3.º Este tercer ejemplo está tomado del gran grupo de algas rojas, conocidas con el nombre de Rodofíceas ó Florídeas..

Los talos sexuales de las Florídeas son monóicos ó dióicos.

En el *Nemalion multifidum*, los *anteridios* ó células madres de los anterozoides son muy pequeños y están reunidos de ordinario en un sistema de ramificaciones muy apretadas en la extremidad de los ramos. Cada uno de ellos condensa su protoplasma alrededor de su núcleo, y constituye un anterozoide esférico que se escapa por una abertura que se forma en el vértice del anteridio, no sin antes consolidarse su membrana y revestirse de una capa de celulosa. Los gametos machos ó anterozoides ofrecen, por consiguiente, un carácter particular que los diferencia de los anteriores, y es que les faltan los cirros vibrátiles, y son, por tanto, inmóviles (fig. 311, a).

Los *oogonios* que están colocados también en las extremidades de los filamentos del talo, se hallan constituidos por células ovoideas en su base y prolongadas en su extremidad libre en un filamento largo y cerrado, llamado *tricogino*, conjunto que aparentemente ofrece el aspecto del pistilo en las plantas superiores. La oosfera se forma en la porción basilar del oogonio; respecto al tricogino, está lleno interiormente de una substancia periplásmica conductora del anterozoide, y exteriormente la capa periférica de su membrana es gelatinosa (fig. 311, t).

El mecanismo de la formación del huevo difiere aquí de lo que en las otras algas hemos observado, puesto que el oogonio está cerrado. Los anterozoides, llevados por las corrientes del agua, se ponen en contacto con el tricogino, y retenidos por la capa gelatinosa superficial, tanto la membrana del anterozoide como la del tricogino, sufren una especie de liquefacción,



Figs. 311 á 313.—Formación del huevo por heterogamia en el *Nematium multifidum*.—A, formación del huevo: *a*, anteridios ó células madres de los anterozoides; anterozoides esféricos libres é inmóviles, representados en la figura con la misma letra *a*; *t*, oogonio prolongado en un filamento alargado llamado *tricogino*, en cuyo vértice se hallan adheridos dos anterozoides.—B, primeras tabicaciones del huevo.—C, esporogonio ó diodogonio en forma de zarzamora, á consecuencia del desarrollo y tabicación del huevo, en el que cada célula *e*, representa un diodo ó espورا de paso; *t*, tricogino marchito.

que permite al contenido de aquél pasar por el conducto del tricogino, y de este modo ponerse en contacto con la oosfera basilar para constituir el huevo. Una vez que se ha formado éste, se encierra de una membrana celulósica que tapiza la pared interna del oogonio y se aísla del tricogino destacado por desecación.

#### ax. Formación del huevo por oosfera sin anterozoide.—

Este procedimiento de conjugación es frecuente en dos familias de los Hongos oomicetos, Peronosporáceas y Saprolegniáceas. Los huevos se producen por el mismo mecanismo: la diferencia está en que el oogonio de las Peronosporas sólo encierra una oosfera, mientras que el de las

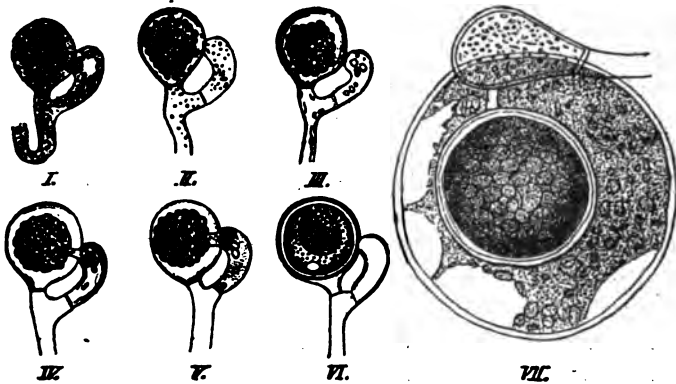
Saprolegnias encierra varias, á cada una de las cuales se viene á aplicar su correspondiente anteridio.

Si elegimos para nuestro estudio cualquiera Peronosporácea, sea la *Peronospora viticola* (mildew), ó la *Phytophthora infestans* (que ataca á la patata), y mejor el *Pythium gracile*, ob-

servaremos que el talo es de estructura continua y formado de filamentos entrecruzados.

Una rama de dicho talo se hincha en su extremo en una esfera, que se separa por un tabique del resto del filamento; esta esfera lleva el nombre de *oogonio*, en el interior del cual la masa central del protoplasma se condensa en una oosfera, y su capa periférica en una substancia nutritiva.

Al propio tiempo, un ramo procedente de la misma rama por debajo del oogonio, bien de una rama vecina, se hincha en



Figs. 314 á 320.—Formación del huevo en las Saprolegniáceas y Peronosporáceas.—*I-VI*, estados sucesivos del aparato sexual del *Pythium gracile*.—*I*, oogonio o, separado por un tabique del resto del filamento.—*II*, el anteridio se separa igualmente por un tabique.—*III*, la oosfera se forma en el oogonio.—*IV*, el anteridio perfora la membrana del oogonio y forma un tubo que llega hasta la oosfera.—*V*, el protoplasma del anteridio viértese en la oosfera.—*VI*, el anteridio vaciado y el huevo envuelto de su membrana respectiva.—*VII*, oogonio de *Peronospora arborescens* con su huevo, en el que la membrana de éste se espesa á expensas del protoplasma excedente (según de Bary).

su extremidad en forma de maza que se separa por un tabique y forma el *anteridio*.

Este anteridio se recurva hacia el oogonio y se aplica estrechamente á él. Del anteridio brota un conducto ó ramillo celular finísimo que penetra en la membrana del oogonio, y atravesando la capa de substancia primitiva, se encuentra con la oosfera y se suelda con ella. En el momento, dicho ramillo se abre en el vértice y por el orificio vierte el anteridio en la oosfera una parte del protoplasma que aquél encerraba (figuras 314 á 320).

Esta porción protoplásmica, sin afectar forma determinada, es á veces separada del resto, que continúa adherente á la membrana; otras veces se realiza en el anteridio una diferenciación de su protoplasma, análoga á la que se opera en el oogonio para formarse la oosfera.

De la fusión de estos dos protoplasmas y de sus núcleos resulta el *huevo*, que al momento se cubre de su membrana de celulosa. Esta, espesándose progresivamente, se diferencia bien pronto en varias capas que se forman á expensas del protoplasma excedente del oogonio (fig. 314, VII). Los huevos así constituídos pasan el invierno sin cambio alguno y no germinan hasta la primavera siguiente (fig. 314, VI).

Según esto, el anteridio no produce anterozoides bien diferenciados hasta establecerse la comunicación directa con la oosfera.

No se olvidará que en las Saprolegniáceas, sirva de ejemplo, la *Saprolegnia monóica*, que se desarrolla frecuentemente en los cadáveres de algunos animales (peces), recubriéndolos con sus filamentos esporíferos radiados de una especie de moho blanquecino, el oogonio forma gran número de oosferas, en cuyo caso varios anteridios vienen á aplicarse sobre su superficie para fecundarlas.

## CAPITULO II

### FECONDACIÓN EN LAS MUSCÍNEAS, CRIPTÓGAMAS VASCULARES, Y FANERÓGAMAS GIMNOSPERMAS Y ANGIOSPERMAS

#### 2.—Fecundación en las Muscineas.

Para comprender la fecundación y fenómenos preparatorios de estas plantas, interesa conocer, aunque sea someramente, algunos detalles respecto á su organización.

El tipo de las Muscineas se caracteriza porque son plantas celulares con tallos y hojas, sin raíces ni flores; reproducción asexual por diodos, y sexual por anteridios y arquegonios.

Su proceso evolutivo se halla distribuido en dos troncos totalmente distintos: uno *sexuado*, nacido por germinación del diodo (espora de paso), y otro *asexuado*, engendrado por tabicación del huevo. Ambas fases de desarrollo, tan distintas y conexas, se operan también en ciertas algas Rodofíceas (*Nemalion*), sirviendo por esta circunstancia de lazo de unión con el tipo que ahora estudiamos.

En el tronco sexuado se distinguen dos fases: la primera es consecuencia inmediata de la germinación del diodo, que origina un tejido reticular de filamentos verdes, cuyos ramos, entrecruzados y cespitosos, adquieren algunas pulgadas de extensión sobre la superficie de la tierra, denominado *protonema* (figura 321).

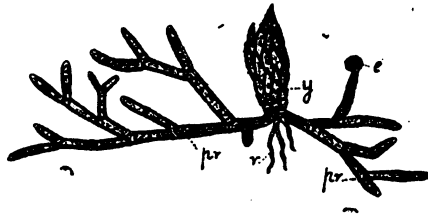


Fig. 321.—*Funaria hygrométrica*: e, diodo ó espora de paso, del cual nace el protonema *pr*, por germinación; yema *y*, procedente por gemmación del protonema; *r*, rizoides que brotan de la parte inferior de la yema, así como de la porción superior de ésta se inicia el vástago foliar.

En la base de una ramificación del protonema, se desenvuelve un pequeño tubérculo que crece por su vértice, como las yemas, y origina

la segunda fase, ó sea el tallo y hojas; al mismo tiempo brotan de la base de dicho tubérculo pelos especiales, llamados *rizoides*, encargados de absorber de la tierra los jugos necesarios al desenvolvimiento de esta fase, llamada adulta, que, como se desprende de lo dicho, está vinculada con la fase joven ó protonema, por la yema en éste producida.

Esta gemmación se repite en diversos puntos del protonema, produciéndose de este modo á sus expensas un número variable de plantas adultas, al principio unidas y luego libres por destrucción del mismo.

En esta fase adulta, ó sea en el tallo hojoso así constituido, se desenvuelven los anteridios (órganos masculinos) y arquegonios (órganos femeninos).

Estos órganos sexuales, colocados unas veces en el vértice del tallo principal, otras en los ramos secundarios, se hallan cubiertos por pelos estériles constituidos de células uniseriadas, á los cuales se les da el nombre de *parafisos*, y el todo, finalmente, se halla envuelto por un involucre formado de hojas muy próximas que disminuyen de tamaño hacia el interior y se hallan ordenadas por espirales secundarias de un modo semejante á las escamas de una piña.

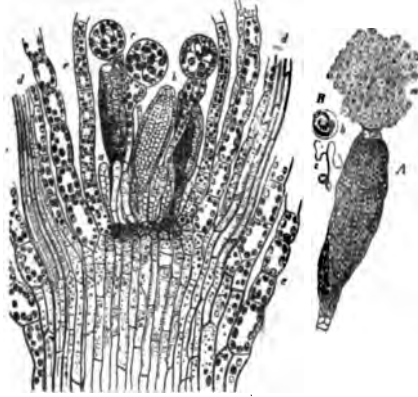


Fig. 322.—Sección longitudinal axil de un involucre masculino joven de *Funaria hygrometrica*.—*d, e*, hojas del involucre cortadas á lo largo del nervio medio foliar; *a*, anteridio muy joven; *b*, sección longitudinal de un anteridio casi maduro; *c*, parafisos.

Cuando el involucre foliar encierra los dos órganos sexuales, se denomina *hermafrodita* (*Bryum*); mas si, como ocurre frecuentemente, se hallan separados éstos en distintos involucre, se llaman unisexuales, masculinos ó femeninos (*Polypodium*, *Funaria*).

El anteridio nace, como los pelos, de una célula periférica del tallo, y está constituido por un saco ovoideo pedicelado, cuya pared externa se halla formada de una sola hilada de células precisamente clorofílicas, que al madurar adquieren coloraciones amarillas ó rojas, y el interior repleto de células cúbicas,

Fig. 323.—*Funaria hygrometrica*.—*A*, anteridio maduro que abriéndose por el vértice, facilita la salida de los anterozooides *a*.—*B*, anterozoides más aumentados; *b*, dentro de la célula madre; *c*, anterozoide libre.

cada una de las cuales produce un anterozoide (fig. 322). En la madurez se abre el anteridio por su vértice, dando salida como espesas burbujas mucilaginosas á cada una de las células internas, madres de los anterozoides, las cuales, á su vez, por renovación, dejan en libertad á éstos, que afectan la forma de su filamento torcido en espiral, hallándose una de las extremidades terminada en maza, así como la otra, muy delgada, se prolonga en dos largos cirros que,

moviéndose á tornillo, promueven la traslación de la espiral y la rotación alrededor de su eje (fig. 323).

El *arquegonio* procede como el anteridio de una célula superficial del tallo, y tiene la forma de una botellita pedicelada, de largo retorcido y delgado cuello. La pared del vientre comprende dos ó varias capas de células, mientras que la del cuello no presenta más que una, formada de cuatro á seis apiladas (fig. 324).

Vientre y cuello encierran una hilera central de células, de las cuales la inferior constituye la *oosfera*, y las otras se gelifican ó transforman en mucílago, el cual, no sólo contribuye á desunir las cuatro células terminales del cuello y producir la abertura del canal obturada por una gota de dicho mucílago, sino también, por su propiedad osmótica y azucarada, sirve como centro de atracción para que afluyan los anterozoides.

**Fecundación.**—La lluvia ó el rocío depositados en el involucre, produce la apertura en los anteridios y salida de los anterozoides, los que nadando en dicho líquido y atraídos por la corriente difusiva que la gota gelatinosa ó mucilaginoso, adherida en la boca del cuello promueve, son por fin capturados, y siguiendo el camino ó canal mucilaginoso, atraviesan el cuello y penetran en la oosfera. Una vez aquí, la substancia del anterozoide se combina con la oosfera, fusionándose los núcleos y protoplasmas respectivos, y la conjugación así satisfecha constituye el *huevo*, que al poco tiempo se cubre de una membrana de celulosa.

El huevo se transforma en tronco diodógeno, formado por un finísimo filamento llamado *cerda*, cuya extremidad sostiene una *cápsula* dentro de la cual se originan y contienen los diodos, llamada por esta razón *diodogonia* ó *diodocarpio*, los cuales quedan luego en libertad por una dehiscencia especial de ésta.



Fig. 324.—A: Sección longitudinal axil de un involucre femenino de *Funaria hygrometrica*; b, hojas; a, arquegonios.—B: arquegonio aumentado; b, vientre con la oosfera y la primera célula de canal; b, cuello cerrado en su vértice m, con las células de canal, comenzando á transformarse en mucílago.—C: porción superior del cuello de un arquegonio después de la fecundación, con las membranas enrojecidas (negras en la figura).

### 3.—Fecundación en las Criptógamas vasculares.

Son plantas vasculares provistas de raíces, tallos y hojas (frondes), y que no presentan flores; se reproducen asexualmente por esporas y sexualmente por anteridios (órganos sexuales masculinos), y arquegonios (órganos sexuales femeninos).

En dichas plantas son también dos los troncos que integran su desenvolvimiento: uno sexual, denominado *protalo*, y otro asexual, vegetativo y diodógeno, representado por la *planta adulta*, entre los cuales el grado de separación es mayor que el observado en las Muscíneas.

El *protalo* producido en la superficie de la tierra por germinación de los diodos (esporas de paso), es una pequeña lámina verde ó incolora que en un principio afecta forma triangular, pero después, á consecuencia de una escotadura que aparece en su cara anterior, toma el aspecto cordiforme ó reniforme. Adquiere en su desarrollo una longitud aproximadamente de medio centímetro, y aplicada en toda su extensión sobre la superficie húmeda del suelo, diversas células, situadas en la cara inferior, se prolongan, dando origen á pelos absorbentes que desempeñan análoga función á las raíces de los seres superiores.

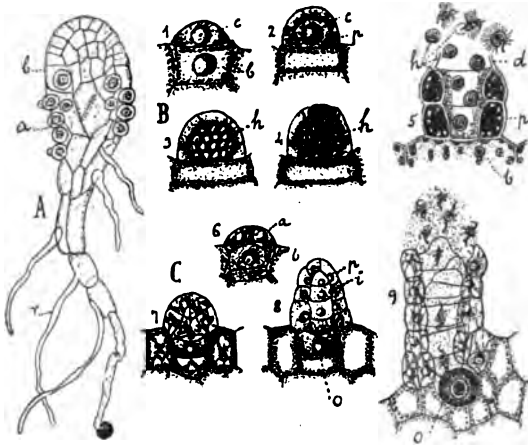
Dicho *protalo*, en su primera edad, sólo está constituido por una sola capa de células; mas al poco tiempo sobreviene una proliferación en las células de la cara inferior á partir de la escotadura, que por limitarse á la línea media del *protalo* forma una especie de *almohadilla*, la que en algunos casos alcanza hasta el extremo ó cara posterior, simulando el nervio medio de una hoja (*Osmunda*) (figura 325, A).

Toda la actividad del *protalo* tiende á la producción de gametos ó células sexuales, localizadas en órganos especiales denominados *anteridios* (masculinos) y *arquegonios* (femeninos), los cuales pueden coexistir en un mismo *protalo*, que recibe el nombre de *monóico*; ó hallarse separados en *protalos* independientes, en cuyo caso éstos se denominan *dióicos*.

Los anteridios, como los arquegonios, se forman en la cara inferior del *protalo*: los primeros (cuya formación se especifica en la figura 325, B) son masas ovoideas y prominentes localizadas ordinariamente en el borde de dicho *protalo* (véase fig. 325, A), en donde se forman los gametos masculinos, que por ser ciliados y móviles reci-



ben la denominación de anterozoides (fig. 325, B, 4); los segundos, ó *arquegonios*, se encuentran situados en la porción de la almohadilla que se halla cerca de la escotadura. Estos arquegonios tienen la forma de botella (fig. 325, C, 7 y 8), y en su proceso evolutivo siguen las mis-



Figs 325 á 334.—A: protalo del *Pteris aquilina*; a, anteridios; b, masa pluricelular; r, rizoides.—B: desarrollo del anteridio del *Pteris serrulata*.—1: c, célula madre; b, epidermis verde del protalo.—2: p, pared del anteridio en forma de cúpula, originada por tabicación de la membrana de la célula madre c.—3: h, células madres de los anterozoides por segmentación endógena de la célula madre primordial.—4: b, anterozoides libres todavía arrollados en espiral.—5: anteridio abierto, dando salida á los anterozoides b; d, restos del opérculo; p, pared del anteridio; b, células del protalo.—C: desarrollo del arquegonio en el *Pteris serrulata*.—6: a, células madres del cuello; b, célula madre de la oosfera.—7: la célula madre de la oosfera se tabica en su parte superior y origina la célula de canal.—8: p, pared del cuello del arquegonio casi maduro; i, células de canal comenzando á gelificarse; o, oosfera.—9: arquegonio maduro y abierto su cuello, por donde, atraídos por el mucilago, penetran los anterozoides para fecundar la oosfera o.

mas fases de tabicación, que serán indicadas en la formación de los órganos femeninos ó *corpúsculos* de las Gimnospermas. Esta oosfera, gameto hembra inmóvil, está constituida por una célula desnuda, es decir, por sólo protoplasma y núcleo, sin membrana celulósica (figura 325, C, 8 y 9, o).

El fenómeno de la fecundación se realiza en las Criptógamas vasculares de un modo muy sencillo.

Los anterozoides que surgen de los anteridios, atraídos in-

dudablemente por las corrientes que tienen lugar á consecuencia de la acción difusiva del mucílago que mana de los arquegonios, y auxiliados además con la movilidad de los cirros de que se hallan provistos, se aproximan á la boca del cuello de los arquegonios, é impulsados por la corriente así como por sus movimientos, penetran en el canal y llegan á la oosfera (véase fig. 325, C, 9). Se opera entonces la fusión de los elementos homólogos de los gametos, á saber: los cirros vibrátiles del anterozoide con el protoplasma de la oosfera, y el cuerpo más ó menos espiral de dicho anterozoide con el núcleo. La célula resultante ó *huevo* se cubre al poco tiempo de una membrana de celulosa.

Este huevo, alimentado á expensas del protalo, se tabica, dando lugar á cuatro células: de las cuales, la supero-posterior forma una masa cónica ó *pie* que penetra en el tejido del protalo como elemento absorbente para alimentar á las otras tres; la supero-anterior produce el tallo; la infero-anterior la primera hoja ó fronde, en la cual se desarrollan los diodos en la cara inferior (*Pteris*) ó en emergencias foliares (*Isoetes*); y, por último, la infero-posterior, la raicilla.

Los diodos de estas plantas pueden ser iguales ó desiguales, llamándose respectivamente *isodiodeas* y *heterodiodeas*. Los isodiodos al germinar producen protalos generalmente dióicos (equisetáceas), ó monóicos (filicíneas, licopódidas). Mas cuando son heterodiodeas, como acontece en las Salviniáceas y Selaginélidas, se distinguen dos clases de diodos: unos más pequeños, *microdiodos*, destinados á originar protalos masculinos, y otros *macrodiodos*, que producen protalos femeninos, encerrados en bolsas especiales originadas por una célula epidérmica, que reciben respectivamente los nombres de *microdiodangios* y *macradiodangios* en razón al contenido.

#### 4.—Fecundación en las Gimnospermas.

Las Gimnospermas son plantas con fibras y vasos, con raíces, tallos, hojas, flores desnudas y fructificaciones (no verdaderos frutos); reproducción sexual mediante elementos des-envueltos por órganos especiales llamados *estambres* (órganos masculinos) y *carpelos* (órganos femeninos); óvulos descu-

biertos, semillas no envueltas por un pericarpio. Son siempre unisexuales, generalmente monóicas, alguna vez dióicas (cicádidas).

En lo que respecta á la fecundación, se advierte una relación estrecha entre las Criptógamas vasculares heterodióicas y el grupo de que se trata. Los microdiodos de aquéllas están representados en éstas por los *granos de polen*, pues al germinar éstos se conducen de un modo homólogo á como lo hacen los microdiodos de una *Salvinia*, por ejemplo. La diferencia entre ambos elementos sexuales se funda principalmente en que los anterozoides en las fanerógamas en general, no quedan en libertad en el medio exterior, sino que son conducidos hasta la oosfera por el tubo polínico formado á expensas de la célula vegetativa. El macrodiodangio de un *Isoetes* ó *Selaginella*, halla muy aproximada representación en la nuececilla de las Gimnospermas, así como un macrodiodo de un *Isoetes* parece corresponder á la célula madre del endospermo, puesto que este endospermo no es otra cosa que un protalo hembra que produce arquegonios constituídos de un modo análogo. La única diferencia que se observa consiste en que la célula madre del endospermo, en lugar de dividirse en varias células hijas (cuatro en la *Selaginella*, una en las *Pilularias*) para constituir otros tantos endospermos parciales (macrodiodos), no se tabica en partes en las Gimnospermas, y produce directamente el endospermo. Hay, por tanto, una simplificación en estas plantas cuyo resultado es, suprimiendo la formación de distintos macrodiodos como en aquéllas, mantener el protalo hembra único incluido en el tejido de la planta madre.

La reproducción sexual se halla encomendada á los estambres (órganos masculinos) y carpelos (órganos femeninos). Estos órganos se reducen en algunas gimnospermas inferiores (cicádáceas) á lóbulos de las hojas especialmente diferenciados, para que en ellos se inserten los sacos polínicos ó los óvulos; y en las Gimnospermas superiores (coníferas), unos y otros aparecen sobre hojas especiales ó brácteas formando amentos, hallándose constituídos los órganos sexuales por escamas con sacos polínicos (estambres) ó con óvulos (carpelos).

Los *granos de polen* se producen en emergencias (sacos polínicos) formadas en la cara inferior del limbo estaminal que se desenvuelven á expensas del parénquima cortical de este,

homogéneo en un principio (1). En algunas células subepidérmicas se inicia una diferenciación que determina el aumento de volumen acompañado por una tabicación tangencial que origina la producción de dos capas celulares, de las que la *interna* ha de engendrar las *células madres del polen* (véase fig. 335, *cm*). Con tal objeto espesan su membrana, se proveen de un protoplasma muy refringente y experimentan tabicaciones en dos ó tres sentidos según las distintas plantas. Cada una de las células así formadas es la célula madre del polen, que después de espesar su membrana por disolución de la lámina media se aísla, si se trata de una monocotiledónea afectando la forma redondeada; pero en las dicotiledóneas, no efectuándose esta disolución, todas las células madres producidas permanecen íntimamente unidas y poliédricas. En ambos casos el núcleo de cada célula madre se divide en cuatro por dos biparticiones sucesivas y perpendiculares entre sí, y la aparición sucesiva (en la mayor parte de las monocotiledóneas, véase fig. 263 á 268), ó simultánea (muchas dicotiledóneas, véase fig. 269 á 277) de dos tabiques rectangulares, determina como resultado la formación, á expensas de cada célula madre, de cuatro células hijas, las cuales son los granos de polen que por gelificación de sus membranas, más ó menos espesadas, quedan generalmente en libertad en un líquido gelatinoso y granuloso formado por las gelificaciones ya indicadas, y también por el concurso de los productos de la destrucción de otros elementos celulares, que se indicarán en este momento.

Las células de la capa externa, consecuencia de la primera tabicación tangencial, se dividen á su vez en sentido paralelo al anterior, al mismo tiempo que se realiza el proceso de formación de los granos de polen, dando lugar, como *mínimum*, á tres capas de células superpuestas que á su vez sufren nuevas divisiones horizontales y radiales, de las que la más interna (fig. 335, *an*) está en inmediato contacto con las células madres del polen, y adquiere los caracteres necesarios para contribuir á la alimentación de éstas, constituyendo una verdadera envoltura *nutricia*; la tercera capa, rellena en un principio de granos de almidón (véase fig. 335, *af*), está aplicada á la epi-

(1) Como es el mismo el proceso de formación en todas las fanerógamas, se hace indicación aquí extensiva á las angiospermas.

dermis y experimenta lignificaciones que contribuirán á la dehiscencia oportuna del saco polínico; la capa intermedia (véase fig. 335, *an*) es efímera y no adquiere caracteres particulares: su destrucción tiene lugar casi al mismo tiempo que la de la capa nutricia, á la cual incorpora sus despojos, y ambos los tributan al líquido granuloso y gelatinoso en que nadan los granos de polen.

Así como la capa de células nutricias ha provisto á la formación de los granos de polen, el líquido en que éstos se aíslan, una vez formados, preside su desenvolvimiento ulterior y definitivo. A sus expensas se llenan de reservas alimenticias y espesan sus membranas, que frecuentemente se diferencian, dos capas: una externa *cutinizada*, llamada por Richard *exhimenina* y antes por Fritzsche *exina*, provista en algunos casos de ornamentos especiales que facilitan la diseminación y fijación principalmente de la célula polen, y otra interna, celulósica é incolora, denominada *endhimenina* é *intina* respectivamente por aquellos botánicos. La diferenciación de la *exina* respeta ya determinados puntos ó ya líneas meridianas, que son los ornamentos en hueco respectivamente llamados *poros* y *pliegues*, que facilitan al principio la absorción de los líquidos exteriores y después el desenvolvimiento del tubo polínico (véase fig. 47 á 50).

En algunos casos (*Pinus*, *Abies*), la *exina* é *intina* se separan en dos puntos opuestos, constituyendo otros tantos flotadores (1); en otros (*Taxus*), la diferenciación de la membrana

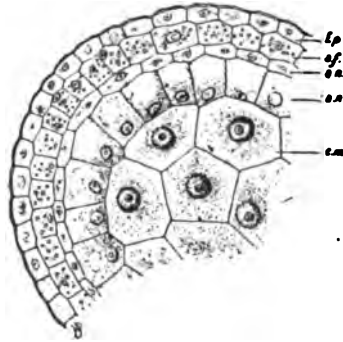


Fig. 335.—Sección transversal de una antera joven de *Fritillaria imperialis*.—*ep*, epidermis; *af*, capa lignificada; *an*, capas nutricias; *cm*, células madres de los granos de polen. (El proceso carioquinésico de las células madres para originar los granos de polen, véase en las figuras 263 y 269.)

(1) En los pinares, la enorme cantidad de polen formada en los sacos polínicos de los estambres de estas plantas, hace que, favorecidos por esta cir-

intécala entre la exina é intina una tercera capa que por la acción del agua se dilata y gelifica desgarrando aquélla y poniendo ésta á descubierto.

El origen de las diferenciaciones indicadas tiene lugar en tantos grupos aislados de células corticales como sacos polínicos hayan de formarse, y en cada uno de ellos el número de células iniciales puede reducirse á una sola, en sección transversal, en cuyo caso, á lo largo del saco polínico, las células madres del polen se hallan dispuestas en una fila longitudinal (Malváceas, Compuestas).

Según el grado que alcance la disolución de las membranas de las células que directamente intervienen en la formación de los granos de polen, así éstos se hallan definitivamente libres ó adherentes, formando grupos más ó menos numerosos. Si las células madres se aíslan por disolución de sus tabiques de contacto, pero persistiendo los de separación de las cuatro células hijas que cada una origina, el polen forma *tetradas* (*Erica*, *Neottia*). Si, por el contrario, es persistente el tabique de las células madres, que permanecen unidas por esta razón, además de los tabiques de las células hijas, la disolución no ha invadido más que á las láminas medias de las células madres primordiales; los granos de polen se hallan agrupados en este caso, formando *masulas* (*Orchis*, *Ophrys*). Y, finalmente, si no ha tenido lugar disolución alguna, todos los granos procedentes de un mismo saco polínico permanecen adheridos en una masa denominada *polinia* (muchas Orquidáceas, Asclepiadáceas), cuya masa de polen se estrecha en su extremo, formando un pedicelo celular llamado *caudicola*, que termina en un pequeño cuerpo glanduloso denominado *retináculo*.

Una vez que el grano de polen ha adquirido el tamaño, forma y estructura definitivas, el núcleo respectivo sufre una bipartición, dando lugar á otros dos de distinto volumen; al mismo tiempo originase entre ambos un tabique, en forma de vidrio de reloj, que atraviesa al protoplasma, dividiendo interiormente el grano de polen en dos células hijas desiguales, que, en razón á sus finalidades fisiológicas, reciben los nom-

constancia, sean trasladados por el viento á grandes distancias, formando verdaderas nubes amarillas que al caer fueron consideradas por los antiguos como lluvias de azufre.

bres de célula *vegetativa* ó *germinativa* la mayor, y célula *reproductora* ó *generativa* la menor. Mas como en brevísimo plazo sobrevienen particularidades notables á consecuencia de gelificaciones ó de nuevas biparticiones, márcanse diferencias internas en el grano de polen que delatan ostensiblemente á las Angiospermas y á las Gimnospermas.

Es un hecho general que en las Angiospermas se disocia la célula pequeña por gelificación de la lámina media en toda la superficie de contacto, y una vez libre, afecte la forma de una lente ó de un huso, nadando en el protoplasma de la mayor. En cambio, en las Gimnospermas, además de no operarse esta gelificación y permanecer en el mismo lugar adherida con la intina del polen, es foco de una tabicación especial, que consiste en originar un pequeño abultamiento redondeado emergente hacia la célula mayor, y dividiéndose al mismo tiempo el núcleo en el sentido de esta especie de gemmación, se establece un tabique medianero entre ambas, dando por resultado dos pequeñas células unidas entre sí, una interna y otra externa, en comunicación ésta con la intina del grano de polen.

Aun cuando el hecho manifestado es constante en muchas Gimnospermas, como acontece en las Cicadáceas (*Zamia*, *Ceratozamia*), sin embargo, puede ocurrir, como sucede en otras plantas (*Taxus*, *Abies*, *Pinus*), que se destruya la más externa de las pequeñas células; mas como da la circunstancia que dicha célula establece el enlace con la intina del grano de polen, resulta que, una vez disuelta, queda libre la interna, flotando en el seno del protoplasma de la mayor, á semejanza de lo indicado en las Angiospermas.

De todos modos, sea libre ó adherente la célula pequeña interna, que es precisamente la generativa, se observa que en las Angiospermas es de primera generación con relación al núcleo del grano de polen, así como en las Gimnospermas es, *por lo menos*, de segunda. Y decimos por lo menos, teniendo en cuenta que en algunas plantas Gimnospermas (*Ceratozamia*) la gran célula resultante de la primera división del núcleo del grano de polen ó célula vegetativa, continúa la bipartición en núcleos desiguales una ó dos veces, dando lugar respectivamente á dos ó tres pequeñas células apiladas ó superpuestas y unidas con la intina por intermedio de la más externa.

En todos los casos, finalmente, siempre se verifica que de todas las células formadas en el interior del grano de polen, la mayor contribuye á la formación del tubo polínico: por eso se llama *vegetativa* ó *germinativa*, mientras que la más pequeña, si está sola (Angiospermas), ó la más interna de las pequeñas, si hubiera más (Gimnospermas), interviene en el proceso de la fecundación, y de aquí el nombre de *reproductora* ó *generativa*, pues las demás no sólo son inactivas, sino que se destruyen en el momento de realizarse la germinación del grano de polen.

Los *órganos femeninos* de las Gimnospermas se reducen, según queda indicado, á lóbulos de hojas especialmente diferenciados para que en ellos se inserten los óvulos (Cicadáceas), ó á hojas transformadas en escamas (carpelos), en cuya base, y mediante un funículo corto, se hallan sostenidos los óvulos completamente al descubierto.

Los óvulos están formados por una cubierta ó *tegumento* único que envuelve á un conjunto de células ó porción central pluricelular, denominado *nuececilla*, dentro del cual se desenvuelve el *endospermo*. Dicho tegumento se alarga ó prolonga encima de la nuececilla y constituye una especie de *canal*, llamado *micropilar*, por terminar en un orificio llamado *micropilo*.

Las Gimnospermas, á diferencia de las Angiospermas, no forman núcleo secundario en el endospermo. Esta diferencia tan importante tiene su fundamento en la génesis del endospermo. En efecto: el núcleo respectivo á una de las células de la nuececilla ovular, que por su mayor desarrollo recibe el nombre de célula madre, no se limita en estas plantas á dar origen por tres biparticiones sucesivas á dos tetradas, como observaremos sucede en las Angiospermas, sino que continúa el prolífero proceso de multiplicación mitósica, dando lugar á centenares de células que, asociadas, forman un macizo pluricelular netamente diferenciado que se denomina *endospermo* y rellena el saco embrionario.

Algunas células endospermicas situadas en la proximidad del vértice de la nuececilla (de 3 á 5 en las Abietíneas, de 3 á 15 y á veces más en las Cupresíneas), y colocadas al mismo nivel, adquieren mayor desarrollo y constituyen las *células madres de las oosferas*. Estas en ocasiones son contiguas y



de forma prismática (Cupresíneas), ó se hallan distribuidas, ó sea separadas entre sí por una ó varias capas de pequeñas células endospermicas y toman la forma ovoidea (Abietíneas).

Ahora bien: de las extremidades superiores de cada una de estas células madres, generadoras de las oosferas, se separa por un tabique transverso celulósico una pequeña célula, que á su vez, por dos tabiques perpendiculares al precedente y entre sí, forma una corona cuadrícélular denominada *roseta*. Las células de esta *roseta* en algunos casos continúan su tabicación en un solo sentido, y forman dos ó más capas superpuestas que son otros tantos pisos cuadrícélulares integrando aquélla. La gran célula restante forma la *oosfera*, no sin antes dar lugar en su parte superior á otra más pequeña separada de aquélla por un tabique celulósico curvo, llamada *célula de canal*, en atención á que al desarrollarse hacia la parte superior se insinúa ó penetra por la línea de contacto de las células de la roseta, y como al mismo tiempo se gelifica, forma una especie de canal que permite la entrada al tubo polínico (véase figura 347, I, II y III). Cada gran célula ú oosfera hállase por fin constituida por un núcleo colocado en su parte superior y un hidroplasmito ó vacuolo de jugo celular en su porción media.

En suma: la parte esencial del órgano femenino de las Gimnospermas consta de la oosfera, célula de canal y de la roseta, y el conjunto de estas tres partes recibe la denominación de *corpúsculo*. Dicho corpúsculo corresponde al arquegonio de las Criptógamas vasculares, del mismo modo que el protalo de éstas, es homólogo al endospermo de aquéllas. Las células de la nuececilla situadas encima de los corpúsculos, se gelifican generalmente, dando lugar á una depresión ó cavidad destinada á recibir los granos de polen, denominada *cámara polínica*, que coincide ó se halla en perfecta correspondencia con el canal micropilar formado por el tegumento del óvulo.

De lo anteriormente manifestado se deduce que en las plantas Gimnospermas no hay más núcleo fecundable que el de la oosfera, que la ausencia del núcleo secundario, generador alimenticio, tiene aquí su fundamento racional, supuesto que el endospermo pluricelular que rodea á los corpúsculos, sirve de alimento á la proliferación del huevo originado por fecundación (siendo, por tanto, homólogo al albumen constituido en las Angiospermas como resultado de la fecundación del nú-

cleo secundario), y, por último, que en consonancia de esta ausencia, de los dos gametos masculinos formados en cada tubo polínico (cada uno de los cuales fecunda respectivamente al núcleo principal y núcleo secundario en las Angiospermas), como aquí solo se origina el huevo propiamente dicho, únicamente persiste el gameto correspondiente y se destruye el gameto gemelo.

Con estos antecedentes entremos de lleno en el proceso de la fecundación. La acción del polen sobre el óvulo comprende: 1.º, transporte del polen sobre el óvulo (Gimnospermas), ó sobre el estigma (Angiospermas), llamado *polinización*; 2.º, germinación del polen en el óvulo ó en el estigma; 3.º, desarrollo del tubo polínico hasta llegar á los corpúsculos ó al saco embrionario, y 4.º, fecundación ó fusión de los gametos masculino y femenino (anterozoide y oosfera).

No es del caso indicar aquí los muchísimos procedimientos, por medio de los cuales, natural ó artificialmente, directa (pesantez, aire, agua) ó indirectamente (insectos, aves, hombre, etc.), y según sean las flores chasmógamas (abiertas) ó cleistógamas (cerradas), se realiza esta fase preparatoria á la fecundación. Baste saber que una vez maduros los granos de polen contenidos en los sacos polínicos, se efectúa de diversos modos la dehiscencia de éstos, y aquéllos son transportados de muy distintas maneras, á veces auxiliados de flotadores especiales, como acontece en las coníferas (*Pinus, Abies*), y se pone en comunicación con los órganos femeninos.

En todos los casos el polen penetra por el micropilo en el canal micropilar, y gracias á la humedad azucarada que exudan los óvulos, germina directamente sobre ellos de un modo análogo á como se efectúa sobre el estigma en las Angiospermas.

El grano de polen de las Gimnospermas ordinariamente pluricelular, según queda indicado, y provisto en su madurez de las reservas nutritivas precisas para su desarrollo, germina, esto es, se desenvuelve en un tubo polínico siempre que le sean favorables, como tiene lugar para la semilla, las condiciones de humedad, aire, temperatura, pues de lo contrario permanece en estado latente, en el cual perdería con el tiempo, variable según las especies, las condiciones germinativas.

El desarrollo del grano de polen es muy limitado, consiste

sencillamente en el alargamiento de la membrana celulósica *intina* á través de los puntos de menor resistencia que ofrece el grano de polen, como son los poros ó pliegues que presenta la *exina* cutinizada, dando lugar á un tubo delicadísimo llamado *tubo polínico*.

En la práctica, es facilísimo producir artificialmente el desenvolvimiento del tubo polínico en todo grano de polen. Es suficiente incluir dicho grano en una gota de agua azucarada y ligeramente acidulada con ácido cítrico ó tártrico depositada sobre un porta-objetos, para que observada en el microscopio al cabo de una hora de comenzar la experiencia, se distinga con toda claridad el desarrollo del tubo ó tubos polínicos producidos. Más si realizáramos la experiencia en el agua pura, pronto observaríamos una rapidísima absorción de dicho líquido que llevaría consigo la rotura del tubo por el gran poder osmótico de las sustancias contenidas. De todo lo cual se infiere que para efectuarse una franca germinación del polen en las plantas, es preciso exuden los óvulos (Gimnospermas) ó los estigmas de los órganos femeninos (Angiospermas), líquidos azucarados ó mucilaginosos, como acontece en todos los vegetales, por poco diferenciados que se hallen dichos elementos sexuales.

Es de advertir además que si el azúcar, ácidos diluidos, etc., actúan como agentes auxiliares en la germinación, en cambio, las *sales minerales* aun en solución muy diluida, se comportan como venenos, y paralizan, por tanto, la facultad germinativa.

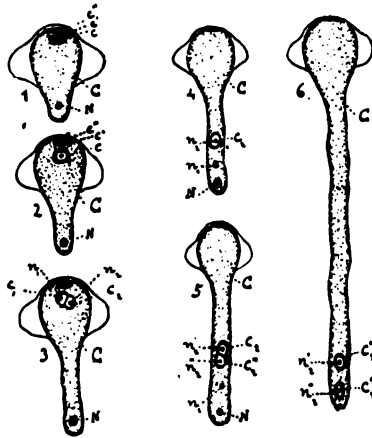
Imprescindible es también para que la germinación se opere con facilidad la intervención del aire. En efecto: si colocamos varios granos de polen en el seno de una gota de agua azucarada sobre un porta objetos y cubrimos á dichos granos con una laminilla cubre-objetos, se observará que sólo se desarrollan ó germinan aquéllos que se encuentran en los bordes de la indicada laminilla, en donde, como es natural, la respiración parece realizarse con más facilidad. Se patentiza también que el oxígeno es necesario á la germinación del polen, sin más que disponer de un modo análogo á los granos de polen, pero sin cubrirlos, en cuyo caso germinan más activamente los que se hallan en la superficie de la agrupación.

Al mismo tiempo que se desenvuelve ó se desarrolla el tubo

polínico, sufre modificaciones de estructura que interesa conocer para comprender la formación de los gametos anteróides que han de intervenir en la fecundación.

Sabemos que todo grano de polen está principalmente constituido por dos células, una mayor ó *vegetativa* y otra menor ó *generativa*. De éstas,

la vegetativa se desorganiza y destruye siempre, bien antes de comenzar el desenvolvimiento del tubo polínico, bien contribuyendo al desarrollo germinativo de éste, en el cual penetra y generalmente ocupa su extremo libre, abriendo paso al núcleo pequeño ó generativo, hasta que al fin desaparece. Dicho núcleo vegetativo en este caso, y teniendo en cuenta sus relaciones con el protoplasma respectivo, coadyuva á la formación y secreción de una diastasa enérgica capaz de disolver las membranas celulares y de digerir todas las sustancias que encuentra en el camino. Se puede conceptualizar al tubo polínico, según esto, como un vegetal parásito que vive á expensas de los



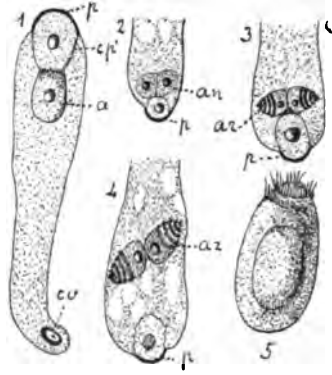
Figs. 336 á 341. — Desarrollo esquemático del tubo polínico del *Pinus silvestris*. — 1:  $c'$ ,  $c''$ , células estériles;  $c$ , célula generativa;  $C$ , célula vegetativa;  $N$ , núcleo de la célula vegetativa. — 1 y 2: comienzos de la germinación. — 3: las células  $c'$  y  $c''$  son reabsorbidas, mientras que la célula generativa se halla dividida en dos células  $c_1$  y  $c_2$ , cuyos núcleos son  $n_1$  y  $n_2$  respectivamente. — 4: la célula  $c_1$  se gelifica y desparrama en la célula  $C$ , y su núcleo  $n_1$  se aproxima al núcleo  $N$ . — 5: la célula  $c_2$  se subdivide en  $c'_2$  y  $c''_2$  con sus núcleos  $n'_2$  y  $n''_2$ ; los núcleos  $n_1$  y  $N$  comienzan á reabsorberse. — 6: prevalecen únicamente en la extremidad del tubo polínico los dos anteróides originados por las células  $c'_2$  y  $c''_2$ .

tejidos de la planta hospitalaria y principalmente del tejido conductor.

En cuanto á la pequeña célula, notables diferencias se advierten en las Gimnospermas. En las Coníferas, dicha célula penetra en el tubo polínico, y sustituyendo el lugar que ocu-

paba la germinativa ó vegetativa, ya destruída, se divide en dos nuevas células hijas iguales ó desiguales (fig. 336). Estas células formadas de un modo análogo á como se realiza en las Angiospermas, son como en éstas aparentemente inmóviles, recibiendo, sin embargo, la denominación general de anterozoides. En cambio, en el *Ginkgo*, dichas células se hallan adornadas de una banda espiral con numerosas pestañas vibrátiles, y como en este caso se mueven con gran actividad, el nombre de anterozoides que llevan parece mejor aplicado (fig. 342, 5.)

En las Cicadáceas (*Zamia*, etc.), la célula generativa se halla adherida á la pared del grano de polen por medio de la externa, é imposibilitada, por tanto, para caminar por el tubo polínico (fig. 342, 1). A tal objeto se divide en dos células iguales dispuestas transversalmente con relación al eje del tubo (fig. 342, 2), cada una de las cuales diferencia su superficie con una línea arrollada en espiral en la que se desenvuelven numerosos cirros vibrátiles. Ambas, unidas al principio (fig. 342, 3), se separan luego entre sí y de la célula externa (fig. 342, 4) moviéndose activamente en el seno del líquido del tubo. Estas células pueden considerarse morfológicamente como verdaderos anterozoides, de dimensiones relativamente grandes (0,330 mm. de largo por 0,300 mm. de ancho), y su célula madre como un anteridio fijo á la pared del tubo por la célula externa indicada á modo de pedicelo.



Figs. 342 á 346. — Desarrollo del tubo polínico de la *Zamia integrifolia*. — 1: la gran célula se desarrolla en tubo polínico: cv, núcleo de la célula vegetativa; p, grano de polen; la célula pequeña se alarga y divide transversalmente en dos, una el pedicelo cp' y otra el anteridio a. — 2: el anteridio divide-se después por un tabique longitudinal en dos células hijas an: p, grano de polen primitivo. — 3: las dos células hijas comienzan á aislarse del pedicelo y diferencian su superficie de una banda espiral de cirros vibrátiles. — 4: los dos anterozoides az se separan y caminan libres hacia la extremidad del tubo polínico. — 5: anterozoide de *Ginkgo*.

Como las dos células procedentes de la célula pequeña ó generativa, móviles en este caso, son homólogas de las demás correspondientes á las Coníferas y Angiospermas aparentemente inmóviles, á todas, pueden considerarse bajo el mismo aspecto y comprenderse bajo la misma denominación, y con el de anteridio á las células que los producen.

Con estos antecedentes, y no olvidando que en la bipartición del núcleo de las células madres para originar los granos de polen, así como en las divisiones que se operan en la célula madre del endospermo para engendrar la oosfera, *se reducen á la mitad el número de cromosomas*, haciendo una excepción á la ley, que, en este sentido, preside á las demás células de la planta, en sus divisiones carioquinéticas respectivas, pasemos á indicar en breves palabras el proceso relativo á la fecundación en las quinospermas.

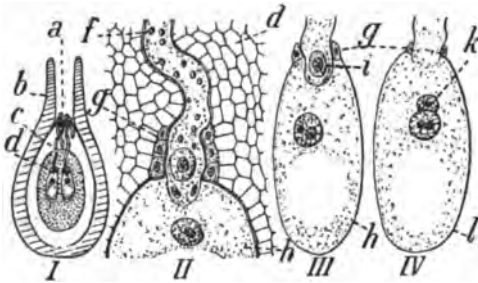
Los granos de polen que han sido retenidos por el líquido viscoso que se halla en la entrada del micropilo, llegan por fin, atravesando el canal micropilar, á la cámara polínica; en ésta se desarrollan los tubos polínicos y penetran en la nuececilla, deteniéndose el desarrollo durante algunas semanas y á veces hasta un año, según que la planta gimnosperma madure su fruto en uno ó dos años. La presencia de dicho tubo polínico en la nuececilla, inicia en ésta la formación de los corpúsculos; una vez maduros éstos continúa el tubo polínico su desenvolvimiento, y desorganizándose á su paso la nuececilla, se aplica contra la roseta.

Ahora bien: á cada corpúsculo ó arquegonio corresponde en general su tubo polínico respectivo (fig. 347, I); dicho tubo se insinúa en la depresión endospermica que en forma de embudo termina la *roseta* (fig. 347, II, g), y, penetrando por el canal de ésta, de los dos anterozoides, únicamente el más próximo al vértice interviene en la fecundación, pues el otro se destruye, y pasando aquél á la oosfera, la fusión tiene lugar uniéndose los protoplasmas y núcleos respectivos (fig. 347, III y IV).

Una fuerza atractiva tiende á reunir el *pronúcleo macho* del anterozoide con el *pronúcleo hembra* de la oosfera, pero como éste es más voluminoso y pesado, el primero recorre la mayor parte del camino y su encuentro tiene lugar en un punto próximo al centro de la oosfera; y como se recordará, que el anterozoide y la oosfera contienen cada uno la mitad de los frag-

mentos por efecto de la reducción cromática efectuada en las divisiones carioquinéticas que originaron la maduración de las células sexuales, es fácil comprender é importante no olvidar que al fundirse los núcleos macho y hembra, *se completa el número de cromosomas* que distingue á los núcleos de todas las células somáticas.

Cuando los arquegonios se hallan diseminados en el endospermo (*Pinus, Taxus*) es necesaria la penetración en él de varios tubos polínicos, cada uno de los cuales se dirige é introduce en el arquegonio correspondiente. Mas si los arquegonios se hallan agrupados (*Cupressus, Juniperus*), un sólo tubo poli-



Figs. 347 á 350.—Ovulo de *Abies excelsa*.—I: *a*, cámara polínica con polen en germinación; *b*, tegumento; *c*, nuececilla; *d*, endospermo con dos arquegonios.—II, formación del huevo: *d*, endospermo; *f*, tubo polínico con la célula generativa: en el extremo de dicho tubo dos núcleos estériles; *g*, roseta; *b*, oosfera.—III: *g*, roseta marchita; *i*, una de las dos células generatrices definitivas; *b*, oosfera.—IV, la misma anterior: *k*, fusión de los dos núcleos sexuales (anterozoide y oosfera); *l*, célula-huevo.

nico es suficiente, con frecuencia, para determinar la fecundación de los dos ó más arquegonios asociados en el fondo de la depresión común del endospermo; á tal objeto la extremidad del tubo polínico se dilata, recubriendo el grupo de canales, y emite por cada uno de ellos una delgada prolongación. La fecundación exige para efectuarse, cuando el número de arquegonios reunidos es superior á dos, que los anterozoides, formados á expensas de la célula generativa, ó al menos el más próximo á la extremidad, se divida originando otros varios, tantos cuantas oosferas hayan de fecundarse, ó sea cuantos arquegonios formen el grupo, si la fecundación ha de ser completa.

Tanto en el Ginkgo como en las Zamias los anterozoides abandonan el tubo polínico y se dirigen hacia la oosfera por el movimiento que, gracias á los cirros vibrátiles de que se hallan provistos, efectúan.

Es interesante el proceso de fecundación en estas últimas plantas. El tubo polínico, al desenvolverse normalmente, penetra en la nuececilla y se desvía lateralmente, alejándose de los arquegonios, é incrustándose en el espesor de aquella, cesa en su crecimiento; en cambio su porción basilar, que es la que contiene el anteridio pediculado, se inflexiona y dirige verticalmente hasta ponerse en contacto con la roseta de un arquegonio, en cuyo punto se rompe dejando en libertad los anterozoides; esta particularidad hace que se denomine *basigamo* á el tubo polínico de este caso, para distinguirlo del que se desenvuelve por el ápice ó *acrógamo*.

Así realizada la fecundación, la célula *huevo*, integrada ó constituída de igual número de cromosomas paterno y materno y de la combinación de las substancias citoplásmicas respectivas á cada uno de ellos, al entrar en franca actividad carioquinésica iniciada por la orientación de los centrosomas que á su vez fueron engendrados por la suma de ambos factores, da lugar á esa vastísima fecundidad celular que caracteriza la segmentación del huevo en los seres pluricelulares, resultando que todas y cada una de las células con las diferenciaciones fisiológicas consiguientes, gozan en el sér de los atributos de sus generadores, y todas y cada una, por último, heredan en esencia parcial y potencialmente, la masa viva de sus progenitores.

### **Fecundación en las Angiospermas.**

Las Angiospermas son plantas con fibras y vasos, con raíces, tallos, hojas, flores y frutos: reproducción sexual mediante elementos desenvueltos por órganos especiales llamados estambres y pistilos; óvulos dentro de un ovario en general; semillas dentro de un pericarpio; reproducción asexual por estaca, acodo ó injerto; nunca por esporas.

La producción del polen tiene lugar en sacos polínicos que se desenvuelven sobre la cara superior del limbo estaminal (an-



tera), y se realiza en líneas generales, de un modo análogo al expuesto en las Gimnospermas (véanse figs. 335, 263 y 269).

Ya constituido el grano de polen, su núcleo se divide en dos porciones desiguales pronto separadas por un delgado tabique curvo formado á través de protoplasma, originándose en su consecuencia dos células, de las que la pequeña se destaca en breve por gelificación de la membrana, quedando libre en la célula grande donde afecta la forma lenticular ó fusiforme.

El núcleo mayor es el *vegetativo* ó *germinativo*, y el menor *reproductor* ó *generativo*, que según se deduce de lo anterior, es siempre de primera generación.

Los *óvulos* son pequeños cuerpos pluricelulares destinados á transformarse en semillas después de la fecundación, é insertos generalmente en los bordes de los carpelos.

El carpelo ó pistilo es una hoja transformada que puede constar de tres partes: el *ovario*, porción inferior más ancha y portadora de ramificaciones, que son los óvulos; el *estilo*, prolongación media acanalada y tapizada de un tejido viscoso llamado *tejido conductor*, porque contribuye á nutrir y facilitar el paso á los tubos polínicos; y el *estigma*, ó expansión terminal del estilo, y, cuando éste falta, del ovario. El estigma es en realidad el propio tejido conductor abarcando mayor superficie que en el estilo y afectando formas muy diversas; las células superficiales de que está constituido, se prolongan generalmente en papilas destinadas á retener los granos de polen (véase fig. 360.)

La parte esencial de un óvulo es una masa celular llamada *nuececilla*, generalmente protegida por dos cubiertas (*primina* la esterna, y *secundina* la interna) que sólo están soldadas entre sí y con la nuececilla por un punto (*chalaça*) correspondiente con aquel por el cual el óvulo se inserta sobre el funículo (*hilo ú ombligo*). El *funículo* es el cordón ó pedicelo que pone en comunicación al óvulo con la porción del carpelo llamado placenta. La primina y secundina no cubren por completo la nuececilla, quedando una abertura (*micropilo*) que da acceso á la nuececilla (fig. 351).

Al mismo tiempo que se forman en la base de la nuececilla los dos rodetes periféricos que, desarrollándose poco á poco, y uno después de otro, originan respectivamente las dos membranas secundina y primina arriba indicadas, el tejido celular

de la nuececilla es objeto de una proliferación especial, dando lugar al *saco embrionario*, parte esencial de ésta.

En efecto: una célula subepidérmica próxima al vértice de la nuececilla, difiere de las contiguas por su crecimiento más rápido y el contenido más espeso; esta célula se divide por un tabique perpendicular al eje del óvulo en dos células. De ellas, la más *externa* ó superior, continúa su tabicación transversal y longitudinalmente, dando lugar á varias capas de células cuyo conjunto recibe el nombre de *casquete embrionario*. La *inter-*

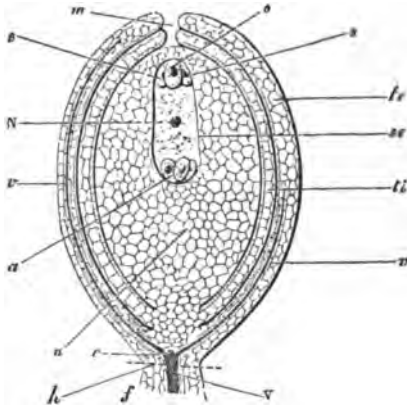


Fig. 351. — Corte longitudinal de un óvulo ortotrope. — *m*, micropilo; *te*, tegumento externo; *ti*, tegumento interno; *n*, nuececilla; *o*, oosfera; *s*, *s*, sinérgidas; *N*, núcleo secundario del saco embrionario; *a*, antípodas; *se*, saco embrionario; *c*, chalaza; *b*, hilo; *V*, hacécillo libero-leñoso del funículo; *v*, hacécillos vasculares del tegumento externo.

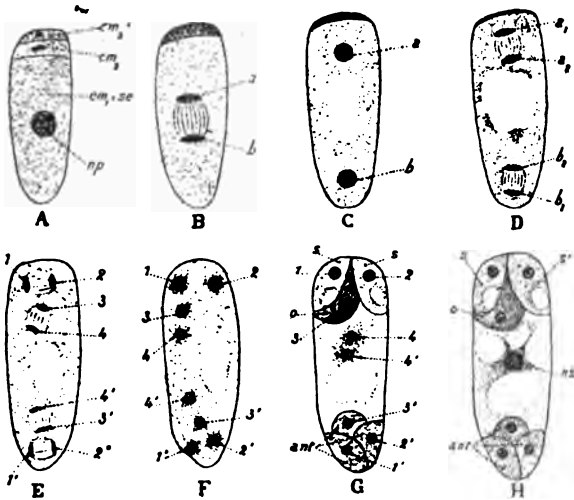
*na* ó inferior, es la célula madre primordial del saco embrionario, que si en raros casos produce directamente éste (Tulipán, Azucena), lo general es que sufra dos tabicaciones transversas y origine tres células madres definitivas *cm*<sub>1</sub>, *cm*<sub>2</sub>, *cm*<sub>3</sub> (fig. 352, A), las que si en un principio eran iguales, bien pronto la inferior *cm*<sub>1</sub>, aumenta de volumen á expensas de las otras dos, que al fin desaparecen por esta razón. Esta célula *cm*<sub>1</sub>, de proto-

plasma muy espeso y núcleo voluminoso *np* recibe la denominación de *saco embrionario*, porque en su seno se desenvuelve el embrión después de la fecundación.

Para prepararse á la fecundación y originar la oosfera generadora del embrión, dicho núcleo *np* se divide por *mitosis* con reducción cromática (1), de un modo análogo á la división su-

(1) Se reduce á doce (*Lilium*, *Fritillaria*); á ocho (*Alstrameria*); á diez y seis (*Orchis*, *Cypripedium*) etc.

frida por la célula madre de los granos de polen, en dos nuevos núcleos *a* y *b* (fig. 352 *B* y *C*). Cada uno de éstos por segunda división dan lugar á otros dos, y los cuatro resultantes sufren, finalmente, otra bipartición, originando en conjunto ocho núcleos que se agrupan en dos tetradas polares, que se colocan en las porciones extremas del saco embrionario. En la tetrada



Figs. 352 á 359.—Desarrollo esquemático del saco embrionario (*Rula graveolens*).—*A*: *np*, núcleo primitivo del saco embrionario *se* ó de la célula madre definitiva *cm*<sub>1</sub>; *cm*<sub>2</sub> y *cm*<sub>3</sub>, células madres definitivas llamadas á desaparecer.—*B* y *C*: división del núcleo *np* en dos núcleos *a* y *b*, y desaparición progresiva de las células *cm*<sub>1</sub> y *cm*<sub>2</sub>.—*D*: los núcleos *a* y *b* se dividen posteriormente en cuatro núcleos *a*<sub>1</sub>, *a*, *b*<sub>1</sub> y *b*<sub>2</sub>.—*E*: dichos cuatro núcleos vuelven á dividirse en 1, 2, 3, 4, y 1', 2', 3', 4'.—*F*: la fragmentación cromática indicada en *E* da lugar á ocho núcleos 1, 2, 3, 4, y 1', 2', 3', 4'.—*G*: los núcleos 1 y 2 constituyen las sinérgidas *s* y *s'*, así como el núcleo 3 la oosfera *o*, mientras que los núcleos 1', 2' y 3' originan las células antípodas *ant*, y los núcleos 4 y 4' se aproximan.—*H*: los núcleos 4 y 4' se reúnen por fin y forman el núcleo secundario *ns* del saco embrionario.

superior hay cuatro núcleos, dos sinérgidas *s* y *s'*, la oosfera *o*, y el núcleo polar superior 4 (fig. 352 *G*). En la tetrada inferior otros cuatro, tres antípodas *ant*, y el núcleo polar inferior 4', colocado en un plano superior á los antípodas. En general ambos núcleos polares 4 y 4' se unen, constituyendo el núcleo bigeminado ó accesorio del seno embrionario encargado de la

formación del albumen ó substancia alimenticia del huevo, para la transformación de éste en embrión.

En suma: el saco embrionario se halla definitivamente constituido por las dos triadas de células polares, y en su porción central por una célula mucho mayor con grueso núcleo, protoplasma con hidroplastos, y membrana celulósica. Al conjunto de estas siete células así conformadas y dispuestas en el tejido celular de la nuececilla se denomina también *endospermo*, por homología con el endospermo de las gimnospermas.

La acción del polen sobre endospermo comprende, en general: 1.º, transporte del polen desde el saco polínico hasta el estigma; 2.º, germinación del polen sobre el estigma; 3.º, desarrollo del tubo polínico á través del estilo, cavidad ovariana, micropilo hasta encontrarse con el vértice de la nuececilla; y 4.º, paso del anterozoide hasta la oosfera para dar lugar á la fecundación.

Ahora bien: como estas cuatro fases se realizan de un modo semejante tanto en las angiospermas como en las gimnospermas, indicaremos solamente las diferencias que separan al primer grupo de plantas citado.

Toda vez que el grano de polen, por cualquiera de los medios indicados en la *polinización*, se posa sobre el estigma, bien de la misma flor, ya de otra flor de la misma planta, ó sobre estigmas de plantas diferentes de la misma especie, es retenido entre las papilas estigmáticas y por el líquido viscoso segregado por éstas. Así dispuesto, absorbe oxígeno y desprende anhídrido carbónico; mas como al mismo tiempo absorbe también del líquido estigmático el agua y los alimentos que necesita para completar á los que contiene en reserva, se desenvuelve el tubo polínico atravesando los puntos de menor resistencia (*poros ó pliegues*) del polen.

En los granos de polen compuestos (tetradas, masulas, polinias), cada grano origina su tubo, y todos ellos entrecruzados constituyen un haz de filamentos delicados.

Desde el estigma pasa el tubo polínico al estilo; si éste es hueco, penetra serpenteando por el tejido conductor que lubrica la pared del estilo; mas si está relleno de dicho tejido entonces el tubo polínico se insinúa entre las células del tejido conductor, disolviéndolas y nutriéndose á sus expensas. Para demostrar la marcha del tubo polínico por el estilo, bastaría hacer

cortes longitudinales en todo el pistilo, y tratados por el agua yodada, notaríamos el curso sinuoso de dicho tubo merced á la coloración azul adquirida por los granos de almidón en él contenidos.

La longitud del tubo polínico depende, como es natural, de la que tenga el estilo; en algunas plantas como la *azucena* alcanza á seis ó siete centímetros, en otras á diez (*azafrán*), y puede medir á veces hasta 28 centímetros, en flores que como el *Cereus* llegan á 35 centímetros de longitud.

Desde el estilo si existe, ó desde el estigma si aquél falta en las flores, el tubo polínico pasa á la cavidad ovariana, en donde siguiendo la dirección marcada por el tejido conductor que aquí lubrica la superficie de las placentas y del funículo, llega por fin al micropilo del óvulo, y penetrando libremente por él, se aplica contra la nuececilla, en la que disociando las células que ocupan su vértice se introduce en el endospermo ó saco embrionario, insinuándose entre las sinergidas para ponerse en contacto con la oosfera (figura 360).

Durante el camino rétorrido, el tubo polínico sufre modificaciones estructurales de importancia.

La célula vegetativa situada frecuentemente en la extremidad libre, en donde precisamente el protoplasma llega al máximum de condensación, sufre con el tiempo una regresión, es decir, desaparece á consecuencia de las mismas

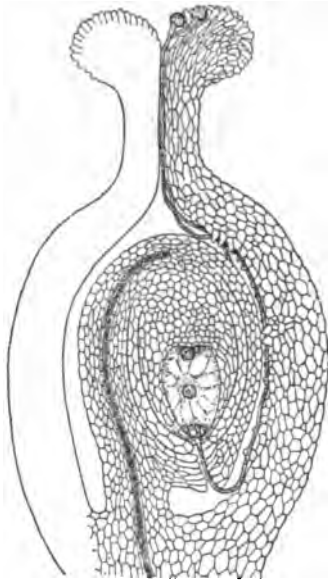
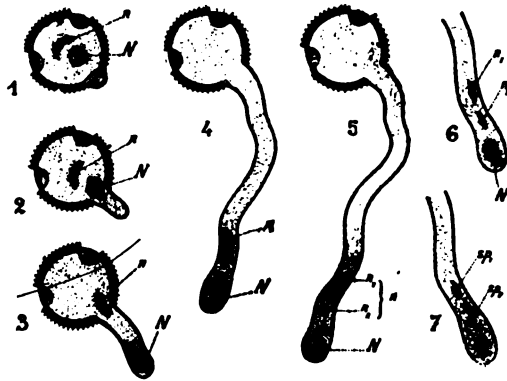


Fig. 360. — Sección longitudinal de un pistilo uniovulado, indicando la marcha del tubo polínico desde el estigma hasta el saco embrionario, pasando por el estilo, cavidad ovárica y micropilo del óvulo. El óvulo es anatropo, tiene dos tegumentos y placentación basilar como en las Compuestas (Van Tieghem).

causas que motivaron su destrucción en las Gimnospermas.

En cambio la célula *generativa* diferenciada de la anterior, no sólo por su forma lenticular ó fusiforme y por la intensidad con que absorbe las materias colorantes, sino también por ir precedida de dos esferas directrices se halla generalmente detrás de la vegetativa (1).

A medida que el tubo polínico se desenvuelve y aproxima al término de su carrera, ó sea al saco embrionario, la célula



Figs. 361 á 367.—Esquema de la germinación de un grano de polen de angiosperma. —1, uno de los poros facilita la salida de la intina á consecuencia del líquido estigmático; *N*, núcleo vegetativo; *n*, núcleo generativo.—2, el tubo polínico comienza á formarse.—3, la extremidad del tubo polínico más desarrollado se halla ocupada por el núcleo vegetativo *N*.—4, los dos núcleos están próximos á la extremidad del tubo.—5, el núcleo generativo *n* se divide en dos núcleos *n*<sub>1</sub> y *n*<sub>2</sub>.—6, el núcleo vegetativo *N* comienza á reabsorberse, hasta que al fin desaparece.—7, la parte celulósica de la extremidad del tubo se reabsorbe á su llegada al saco embrionario, realizándose al mismo tiempo la transformación de los dos núcleos *n*<sub>1</sub> y *n*<sub>2</sub> en dos anterozoides *sp*<sub>1</sub> y *sp*<sub>2</sub> (Bonnier).

generatriz sufre una bipartición carioquinésica, delatando con toda claridad en el período de estrella madre la *reducción cromática* respectiva á la especie de planta considerada (doce cromosomas en el *Lilium*), y distribuyéndose el protoplasma en partes iguales, originanse en el interior del tubo dos células

(1) Decimos generalmente, porque en ocasiones antecede la célula *generativa* á la *vegetativa*; tan variable es esto, que dentro de una misma planta ó especie vegetal, pueden ocurrir ambos fenómenos (*Lilium*).

semejantes (fig. 361). Estas células sexuales aunque no ciliadas, son los gametos masculinos, homólogos con los *anterozooides* de las Criptógamas vasculares y Gimnospermas, y reciben esta misma denominación. Conviene manifestar que esta unidad de criterio respecto al nombre de *anterozooides* no es arbitraria, pues dejando á un lado el fundamento filosófico de la homología, siempre resulta que, aun cuando los gametos en las Angiospermas no sean ciliados, simúlense en ellos por lo menos, movimientos muy semejantes á los de contractilidad, como lo demuestra el hecho de afectar dichos corpúsculos la forma de arco ó de hélice irregular, siempre que se les sorprende con reactivos fijadores como el alcohol absoluto, etc.

El *anterozoide anterior* con sus dos esferas directrices antecediéndole, constituye la *célula generatrix macho definitiva* destinada á fusionarse con la oosfera dando lugar al *huevo*; al paso que el *anterozoide posterior* está llamado á desaparecer á pesar de estar dotado de la misma estructura y propiedades cromáticas. Dicha destrucción se efectúa, de realizarse, dentro siempre del endospermo ó saco embrionario, y, por consiguiente, mucho después de la desaparición del núcleo ó célula vegetativa.

Sin embargo, se ha averiguado recientemente que en el *Lilium Martagon*, *Helianthus tuberosus*, y en otras muchas plantas, este segundo anterozoide no se destruye, sino que en el momento de la fecundación, *se une al núcleo geminado de la célula madre del endospermo* dando lugar á un núcleo de triple fusión, que como fecundación auxiliar trigeminada y concentrando en sí las masas protoplásmicas de las células que han quedado en el saco embrionario, goza de una finalidad esencialísima, cual es, originar por biparticiones sucesivas las células integrantes del tejido alimenticio llamado *albumen*, que necesita el *huevo* para su grandiosísima segmentación en la formación pluricelular de los seres.

Las dificultades inherentes á esta clase de observaciones, hace que se limite á las plantas indicadas, un fenómeno que quizá pueda conceptuarse como general.

Admitido esto, dos fecundaciones ó fusiones cariogámicas parecen realizarse en las Angiospermas: la *cariogamia sexual*, ó fecundación propiamente dicha, y la *cariogamia complementaria*.

**α. Cariogamia sexual: formación del huevo.**—El anterozoide anterior precedido de sus dos centrosomas, atraviesa rápidamente la doble membrana gelatinizada del tubo polínico y del saco embrionario para encaminarse hacia la oosfera. En este momento las esferas directrices ó centrosomas de los dos núcleos macho y hembra que primero se encuentran, se unen previamente dos á dos. Así unidas se separan lateralmente y

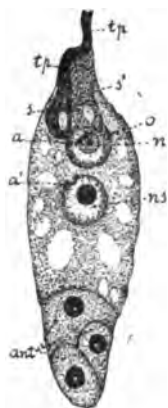


Fig. 368.—Fecundación en el saco embrionario de la patata (*Helianthus tuberosus*).—*tp*, restos de la extremidad del tubo polínico; *s, s'*, sinergidas; *o*, oosfera; *a*, uno de los anterozoides fusionándose con el núcleo *n* de la oosfera, para dar lugar al huevo propiamente dicho; *a'*, el segundo anterozoide fusionándose con el núcleo *ns* del seno embrionario, para originar el núcleo del albumen; *ant*, antipodas.

en sentido inverso cada una de ellas para permitir la unión de los dos núcleos. El protoplasma de la célula generatriz masculina, muy poco diferenciado, se localiza en capa delgada alrededor de las esferas directrices y de la porción adyacente del núcleo. Finalmente, la unión de los gametos se establece, y con la fusión de ellos y la transformación de la membrana albuminoidea periférica en capa celulósica, coincide la fusión de los centrosomas respectivos, que conservan la polaridad orientada que tenían para contribuir á la primera división de la célula *huevo* (fig. 368).

**αα. Cariogamia complementaria: formación del albumen.**

—Mientras se verifica la fusión de los gametos masculino y femenino generadores

del huevo, el segundo anterozoide ó anterozoide posterior masculino del tubo polínico, se adelgaza y desaparece en la generalidad de los casos, como sucede en las Gimnospermas.

Pero en muchas fanerógamas, sirva de ejemplo el *Lilium Martagon*, *Helianthus tuberosus* (véase fig. 368), dicho anterozoide posterior, más voluminoso que el anterior, se fusiona al núcleo bigeminado central del saco embrionario, ó al núcleo polar superior, si los dos núcleos polares no se han fusio-



nado para constituir aquél, ó muy rara vez al núcleo polar inferior; en todos estos casos el nuevo núcleo así constituido origina, multiplicándose, el tejido nutritivo, albumen, que termina por ocupar total ó parcialmente la cavidad del saco.

Una vez el *huevo* engendrado, sufre las biparticiones consiguientes á expensas del albumen, para constituir el *embrión* ó planta en miniatura, transformándose al propio tiempo el óvulo en semilla.

**Pluralidad de huevos: poliembrionía.** — Sucede en algunas plantas (*Mimóseas*, etc.) que las sinergidas del mismo que la oosfera, pueden ser fecundadas por distintos anterozoides procedentes de tubos polínicos especiales, dando lugar á otros tantos huevos, de donde se desprende la equivalencia fundamental de las células de esta triada del saco embrionario. Sin embargo, de los tres huevos sólo llega uno de ellos al desarrollo completo.

Más aún: se justifica la equivalencia de las dos triadas del saco embrionario, sin más que considerar que en las *Balanophoras* puede ser fecundada la célula antípoda media así como la oosfera normal.

Todos estos casos, accidentales desde luego, que manifiestan una *poliembrionia verdadera* por estar ligada á la fecundación de varias células del endospermo ó del saco, no deben confundirse con otros de *poliembrionia adventicia*, en que los embriones proceden de la segmentación ó tabicación fecunda de algunas células epidérmicas de la nuececilla, como sucede en el naranjo.

De todos conocido es el ejemplo que nos ofrece la célebre *Cælebogyne*, Euforbiácea dióica, igualmente poliembrionada. Los embriones que produce esta planta femenina en Europa son todos adventicios, puesto que las plantas masculinas de esta especie no existen en nuestro país. En éste como en todos los casos análogos, resulta que una vez que el tiempo favorable á la formación de los huevos ha pasado, la oosfera desaparece con las sinergidas, y la reproducción, por tanto, tiene lugar por poliembrionía adventicia, originando individuos femeninos como la planta de que proceden.

En el *Allium odorum*, es capaz una de las antípodas del saco de tabicarse y originar un embrión, del mismo modo que

la oosfera después de ser fecundada. Conste, sin embargo, que dicho embrión es de origen vegetativo y no sexual, y, por tanto, adventicio.

#### NECROCITOSIS

No siendo pertinente, por el carácter de esta obra, exponer el sinnúmero de definiciones que respecto á *necrobiosis* se han dado, pues ignorando el concepto esencial de la vida, difícilmente pudiera concretarse cuanto con él se relaciona, prescindimos de hacer disquisiciones filosóficas acerca del epígrafe que encabeza este artículo.

La vida celular, bien considerada individualmente, ya de un modo general, tiene un límite en que su actividad cesa, quedando suprimido en dicho momento todo cambio con el medio exterior que mantenga su individualidad.

Casos hay que la vida no se manifiesta de una manera clara y perceptible, y el sér tiene las apariencias de hallarse despojado de ella: tal ocurre cuando el organismo, según frase de Claudio Bernard, «cae en una especie de indiferencia química,» en que el *movimiento*, característica de la vida, parece interrumpido. Así tiene lugar en muchos animales y vegetales sumidos en período de vida latente, que se distingue bien de la muerte por la resistencia que oponen á la influencia de los agentes externos, á través de la cual conservan una facultad vital pronta á manifestarse ostensiblemente cuando las condiciones del medio concurren á ello, como acontece en las semillas, tubérculos, bacterias, esporas, zoosporas, amibas, infusorios, anguilulas, rotíferos, algunos arácnidos tardígrados (*Macrobiotus Hufelandi*), y otros muchos seres que sería prolijo enumerar.

Si en la célula hemos visto manifestarse los fenómenos de cambio de materia que dan por resultado las funciones de asimilación y desasimilación, y si al mismo tiempo hemos observado restituciones de energía en forma de calor, luz y movimiento, no cabe duda que uno de los efectos de la vida es el constante movimiento molecular del protoplasma, mediante cuyo tráfico químico, unas fuerzas se acumulan en la célula al estado potencial, mientras que otras son puestas en liber-

tad en forma viva ó activa; y de aquí que definiéramos la vida diciendo «que es la virtud propia del sér á moverse á sí mismo.»

Mas como en las células, de igual modo que en todos los organismos, hay un límite vital más ó menos lejano, variable de unas especies á otras, como lo prueba el hecho de que la facultad reproductora por segmentación se agota al cabo de un número mayor ó menor de divisiones sucesivas, después de las cuales se anula, y los individuos aniquilados en la función genésica perecen; para que la especie conserve y continúe la vitalidad desplegada en sus individuos, éstos, antes de morir, ceden toda la parte viva que les queda en beneficio de aquélla, y por esto observamos que las porciones así destacadas de los seres se conjugan con otras de la misma especie, y la vitalidad perdida en las células es recobrada en el huevo como símbolo de propagación en el tiempo. Y si á esto añadimos que el proceso de conjugación se realiza generalmente por los protoorganismos en ausencia de alimentación exterior, bien puede decirse que la *inanición* contribuye á la muerte natural de los seres.

Ahora bien: entrando de lleno en materia, referiremos á dos puntos principales el estudio que nos ocupa: 1.º, fin del protoplasma considerado de un modo concreto dentro de la célula; 2.º, destrucción definitiva del mismo en el transcurso de los tiempos.

I.—Dos factores son esenciales para que la vida de un sér se manifieste: uno *interno*, ó sea el *fac totum* de los fenómenos vitales, en una palabra, la existencia del protoplasma tal y como debe hallarse constituido; y otro *externo*, que se refiere á las circunstancias del medio ambiente en que aquél se desenvuelve. El agotamiento del primero, así como la modificación ó supresión del segundo, son portadores de la paralización del movimiento molecular en los organismos, dando lugar á la *muerte natural* y *accidental* respectivamente.

**Muerte natural.**—Modos muy diversos de destrucciones protoplásmicas por agotamiento adviértense en las células vegetales. Unos se refieren á reabsorciones progresivas de la substancia viva, á consecuencia del gasto que ocasiona la formación de capas celulósicas acusada en las membranas por **espesamiento centripeto**, ó **centrífugo**, como ocurre en los des-

gastes protoplásmicos de ciertas células madres para formar los granos de polen, y de los oogonios al originar las células-huevos (véase fig. 314, VII), sin contar con las múltiples destrucciones celulares por gelificación, liquefacción, gummificación, etc. En otros casos que no excluyen á los anteriores, se produce la muerte de las células, bien por transformación de las membranas celulósicas en principios (cutina, suberina), que interrumpen toda comunicación con el medio externo (corcho); bien por impregnación de otras materias como la lignina (vasos, células esclerosas, fibras), ó mineralización (cristales de sílice, y de carbonato y oxalato de cal); ya, finalmente, por acumulación en las células de productos de eliminación determinantes de la degeneración del protoplasma, como acontece en la formación interna de cristales de oxalato de cal, cistolitos de carbonato de cal, producción de mucílagos, ó de mucilagos y cristales de oxalato de cal (células de rafides).

Es más: células hay, como sucede con los pelos radicales, que su vida es muy fugaz á consecuencia de la disolución progresiva del protoplasma y plasmitos respectivos, efectuada por los constantes trasiegos ó corrientes de los jugos desde el suelo hacia las capas internas del vegetal; y como el poder osmótico celular está en razón directa de la fuerza osmótica del protoplasma, y faltando éste, aquél no se realiza, la célula agotada se deseca y muere, por prevalecer la función al órgano, esto es, porque la absorción tan activa desgarrá estas células tan delicadas hasta hacerlas desaparecer.

Fenómenos análogos se marcan en las células que son causa de la muerte senil en los animales. Así, ciertas partes del corazón se impregnan de sales calcáreas ó se llenan de grasa, y funcionando el órgano con dificultad, las fuerzas se realizan mal y sobreviene la muerte; ó son las arterias que sufren una degeneración que las hace quebradizas, hecho que si ocurre en las del cerebro, determina la apoplejía; ó bien se elaboran transformaciones en las células nerviosas que originan parálisis ó perturbaciones mentales.

De otra parte, la función reproductora está en relación con la muerte natural de los seres, pues sabido es que el desarrollo de los huevos en los ovarios es tal, que asumen para sí toda la actividad vital, y produciéndose degeneraciones en los órganos, se originan trastornos de consideración que llevan con-

sigo la muerte de aquéllos. Sólo así se comprende que plantas anuales puedan transformarse en vivaces con sólo impedir su floración (alfalfa), y que en las anuales pueda adelantarse su muerte provocando por medios artificiales su floración prematura.

**Muerte accidental.**—Esta es siempre corolario de variaciones ó modificaciones más ó menos acentuadas en el medio externo en que los seres se desenvuelven.

Si una célula está en contacto de una disolución más concentrada que su jugo celular, pierde la turgencia, da agua al medio exterior, su protoplasma entonces se plasmoliza, se contrae, y si esta situación es duradera, sobreviene la muerte de las células.

Sabemos también que las células vegetales en ausencia de todo alimento, mueren; pero antes de morir, y según las condiciones de medio, se reproducen por huevos ó por esporas, á los cuales, como más resistentes á las influencias externas, encomiendan la continuación de su vida, que, en estado latente, conservan para trasmitirla al grupo específico cuando aquéllas sean favorables.

Las células vegetales mueren también bajo la acción de temperaturas superiores al máximun y mínimun, variables según las especies.

Se recordará que sometidos los protoplasmas celulares á corrientes de inducción eléctrica se contraen en porciones granulares esféricas, y si la corriente es suficientemente intensa, todo el cuerpo protoplásmico, después de adoptar la forma esférica, sufre un movimiento de descomposición que lo destruye por completo, y la célula, como es consiguiente, muere.

En una palabra, bastará recordar todo lo dicho en el capítulo referente á irritabilidad para deducir que siendo el protoplasma irritable, toda excitación que exceda al límite de resistencia del protoplasma, ha de ser causa forzosa de muerte.

En suma: de todos es conocido que los protoplasmas celulares mueren y pierden, por tanto, su actividad funcional sin más que sujetarlos á los procedimientos de esterilización que hoy se emplean para aniquilar los gérmenes unicelulares perniciosos.

**Seres pluricelulares.**—Estos pueden alcanzar larguísimos períodos de vida si las condiciones de medios son favorables

aun cuando se hallen constituidos parcialmente, como luego veremos, por infinidad de elementos celulares muertos.

Mueren los vegetales pluricelulares al cabo de uno ó varios años después de fructificar, porque todas las substancias que en ella existían capaces de emigrar, fueron atraídas por el fruto durante su maduración, y completamente extenuados, quedan por tanto incapacitados para seguir viviendo.

En la mayor parte de las plantas policárpicas constituidas principalmente por elementos celulares muertos (fibras, vasos, células esclerosas, suberosas, etc.), están éstos relacionados con células vivas que son las que desempeñan el papel más esencial en la vida activa de los vegetales. No creamos, sin embargo, que las células muertas no tienen misiones fisiológicas determinadas que cumplir, pues como todo en la naturaleza está pesado y medido, los tejidos muertos que por agrupación de aquéllas se forman con regularidad matemática, bien sirven de protección (tejido suberoso, epidermis), bien de sostén (esclerenquima), ó de conducción (vasos). El mutuo cambio intercelular de substancias, se verifica no sólo por los vasos, sino también por los canalillos ó puntuaciones de las células esclerosas, y de este modo los jugos absorbidos por las raíces llegan á los tejidos vivos ó partes verdes del vegetal, y una vez allí transformados, circulan por los meristemas, que alimentados de este modo, contribuyen á su activísima multiplicación ó proliferación, y, por tanto, al crecimiento en longitud y diámetro que se observa en estos vegetales.

La vida activa en estos vegetales se sostiene mientras persistan las hojas y puedan ser absorbidos los alimentos por las raíces. Por eso cuando las hojas caen durante el otoño, con ellas se paraliza la vida activa del vegetal que queda sumido en una especie de vida latente, y en tal estado soporta los rigores del invierno. Mas al volver la primavera, las yemas exigen con fuerza materiales alimenticios que absorben del suelo y brota nuevamente la vida suspensa al comienzo de la estación hibernal.

Cítanse árboles cuya vida se ha calculado en miles de años, y no hay obra de Botánica que no indique entre ellos, como ejemplos curiosísimos, el Baobab de Senegambia (*Adansonia digitata*), las Wellingtonias de California (*Sequoia gigantea*), y el célebre Drago ó Dragonal de Tenerife (*Dracæna Draco*),

recientemente muerto. De todos modos y en tesis general, puede decirse que la mayor parte de los vegetales alcanzan longevidades incomparables.

En todos ellos, aun en las primeras fases de su desenvolvimiento, existen ya elementos muertos, contribuyendo, si bien de un modo pasivo, al ejercicio de sus funciones. Los meristemas que determinan su crecimiento, acumulan é intercalan, á los ya existentes, nuevos elementos, algunos de los cuales por suberización ó lignificación pierden pronto su vitalidad. Esto explica el que la aparición de un tejido suberoso especial, interpuesto entre el tallo y el arranque ó cojinete de las hojas, acarree la caída de éstas.

La actividad del *felógeno* aglomera hacia el exterior de un modo centrípeto capas de células que pronto se suberizan y mueren, aislando á los tejidos exteriores vivos de toda comunicación con la porción central del vegetal. La posición del felógeno no es constante, sino que varía hacia el interior, siendo, por tanto, cada vez mayor la zona suprayacente (ritidoma), y la vida del vegetal, de este modo, va extinguiéndose de la periferia al centro.

La zona generatriz más interna llamada *cambium*, aun cuando ocupa una posición fija, los elementos que produce hacia el interior de un modo centrífugo, pronto se lignifican para constituir los vasos, que rellenan la porción medular del tallo, y en su conjunto la parte leñosa del vegetal: la porción más vieja de ésta, que es la más interna, llega á hacerse inepta para el papel conductor que le está encomendado, adquiriendo los caracteres que le acreditan el nombre de *duramen*, á diferencia de la parte joven denominada *albura*, que luego es invadida por aquella modificación: en resumen, el leño va pereciendo del centro á la periferia.

Reunidos ambos procesos, se deduce que en el último período la vida del vegetal se halla concentrada al reducido círculo comprendido entre las dos zonas generatrices, á cuya paralización, de acentuarse los hechos anteriormente manifestados, irá subordinada la terminación de la existencia de la planta.

Si á esto añadimos como causas determinantes del gradual decrecimiento vital del vegetal, según Hartig, la disminución del follaje y producción de substancias plásticas, el agotamien-

to de los alimentos del suelo, su esterilidad consiguiente y apelmazamiento, y la progresiva descomposición de la madera de las raíces y de las ramas muertas, bien puede suponerse que bajo tales influencias la alimentación de la zona *cambium*, aun cuando persista algún tiempo en las partes aéreas, pronto se halla anulada en las raíces que, á falta de la actividad de la capa generatriz quedan totalmente formadas de tejidos muertos, y, por tanto, incapaces de cumplir su cometido, ni de desenvolver nuevas raicillas que en él le sustituyan, hallándose al fin interrumpido en el vegetal todo ingreso de alimentación, procedente del suelo, y como consecuencia la vida que á sus expensas se sostenía. Aun considerando este género de muerte como muerte natural, no se debe olvidar que las yemas y las células cambiales del árbol moribundo sólo tienen un año de edad, y poseen, por tanto, una naturaleza joven, pues en realidad, el árbol sólo muere por la falta de alimento.

II. Así como le está impuesto un límite al individuo, también lo tiene como consecuencia la especie.

Aunque la Biología nos enseña que «la fecundidad está en razón inversa de la magnitud,» así como «cuanto más sencillo es un organismo, de tanta mayor duración será la vida de la especie,» es indudable que la célula, y, por tanto, el protoplasma, morirá por faltarle cualquiera de las condiciones necesarias para el ejercicio de su vida, es decir, la radiación ó el alimento, aun suponiendo que dicha substancia viva no desapareciera por agotamiento dentro de las influencias favorables en que se halla.

No bastará que la naturaleza haya manifestado mayores cuidados en la conservación de los seres más humildes y sencillos, proporcionándoles modos de reproducción fecundísimos para perpetuar su obra en la vida de la especie, al mismo tiempo que medios variadísimos de defensa contra las influencias destructoras, pues todo será inútil si tenemos en cuenta que la Tierra con el tiempo se hallará exenta de condiciones viables para todo sér organizado.

Para demostrarlo, pudiéramos valernos de los datos que aportan los archivos paleontológicos en la sucesión geológica de faunas y floras; mas si del libro de la historia terrestre deducimos que muchas especies han desaparecido por falta de medio ambiente, no debe olvidarse que otras han sucedido á



aquéllas en épocas posteriores, y como quiera que la vida continúa, y naturalistas hay que suponen que unas y otras derivan según las leyes de la evolución, resulta que el argumento carece de fuerza, y es por tanto necesario recurrir á otras razones que evidencien la verdad anunciada.

Entre estas razones, la más clara y natural en armonía con la ciencia moderna, es la basada en el fin del planeta que habitamos. Y como la ciencia geológica predice con argumentos que manan del estudio de los meteoritos, en consonancia con el proceso evolutivo de los astros, que la Tierra cesará de ofrecer condiciones de habitabilidad á todo ser organizado, es lógico que la vida habrá terminado, y por tanto, la substancia viva fundamental, ó sea el protoplasma, perderá su existencia como tal materia organizada.

En efecto, en dicho estudio sobre los meteoritos (1) hubimos de demostrar que estos fragmentos extraterrestres señalan en el cronómetro de los tiempos el término positivo de los astros en general y de la Tierra en particular, supuesto que si los meteoritos, ya por su forma, velocidad y otros caracteres que sería prolijo enumerar, parecen ser fragmentos de un planeta que se destruyó á consecuencia de la consolidación de su masa y retracción posterior; si esto se bosqueja en la Luna con sus innumerables grietas, y se halla plenamente confirmado en los asteroides que gravitan entre Marte y Júpiter, se comprende que sucederá lo mismo con nuestro globo y demás astros, el día que en todos ellos dicha consolidación y retracción haya llegado á su último límite.

Mas antes de llegar á la meta de este desquiciamiento, la Tierra, consolidada y agrietada completamente, á semejanza de la Luna, habrá absorbido sus masas envolventes, atmosférica y líquida, para la formación de la mineral, y faltando evidentemente en este caso las condiciones necesarias para el ejercicio de la vida de los seres, éstos desaparecerán.

Tan lógico es lo que acabamos de manifestar, que si comparamos el estado físico que los planetas señalan con nuestro globo, haremos observar que el Sol representa el núcleo terrestre en estado de ignición: Mercurio, Venus, Tierra, Marte y los asteroides, el estado sólido de nuestra corteza; Júpiter

(1) Gredilla, *Estudio sobre los meteoritos*: Madrid, 1892, pág. 38.

y Saturno, la parte líquida; y Urano y Neptuno, la capa atmosférica por ser gaseosos.

Si extendemos la comparación hasta el desarrollo progresivo de nuestro planeta con los demás del sistema solar, observamos:

1.º Que la pirofera, con su masa atmosférica envolvente, parece hallarse fielmente representada en los planetas Urano y Neptuno.

2.º Que constituida aquella costra superficial como resultado de la lucha entre los dos elementos agua y fuego, y depositándose sobre ella las aguas determinando aquel mar sin orillas, dicho estado evolutivo parece confirmarse en los planetas Júpiter y Saturno.

Y 3.º Que los planetas sólidos representan la corteza terrestre de nuestro globo, observándose que la emergencia de las tierras restringiendo el imperio de las aguas, acrecientan paulatinamente sin más que pasar la vista por la Tierra ( $\frac{2}{4}$  de agua) (1), Marte ( $\frac{1}{4}$  de agua), hasta los completamente sólidos como Venus y Mercurio.

Si á esto se añade que la capa atmosférica de Mercurio es densa y muy parecida á la de nuestro globo en su primera edad, lo que indica la juventud de este astro en razón de su formación; que Venus presenta su masa aeriforme más purificada, según determina la intensidad del crepúsculo; que la Tierra manifiesta una atmósfera transparente y pura; y Marte, finalmente, queda adornado de una envuelta gaseosa debil y delicada, como corresponde á todo planeta más viejo que trata gradual y sucesivamente de absorber la masa atmosférica para la formación de la mineral.

Y, por último, si en aquellos planetas en que se hace posible observar sus masas fijamos nuestra mirada, no habrá duda de señalar en el planeta Marte un desarrollo más adelantado que la Tierra, pues la relación entre la parte sólida y líquida

(1) De una manera general, la proporción entre las tierras y las aguas es próximamente de 1 á 3.

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| Area total de las tierras.....             | 135 000.000 km <sup>2</sup> . |
| — — aguas.....                             | 375.000.000 km <sup>2</sup> . |
| Area total de la superficie terrestre..... | 510.000.000 km <sup>2</sup> . |

es  $\frac{1}{2}$  en aquél, mientras que en el planeta que habitamos es de  $\frac{1}{4}$ .

En resumen: si del brevísimo esquema que acabamos de manifestar respecto al proceso evolutivo de los astros, deducimos que en nuestro planeta los mares se reducirán de un modo gradual y progresivo, día llegará en que la materia líquida sea insuficiente á las necesidades requeridas por los seres organizados, y careciendo éstos de condiciones apropiadas al ejercicio de su vida, ésta desaparecerá de la faz de la tierra.

Hemos terminado. Si en los seres más diminutos hemos podido evidenciar en cierto modo la admirable y magistral precisión en el conjunto de sus partes y la función á cada una encomendada; y hemos revelado también las múltiples y constantes relaciones que las células confederadas conservan en los seres pluricelulares en cumplimiento del fin para que han sido creados, basta para juzgar con sobrado fundamento, cuán sabia y grandiosa es la frase *Deus magnus in magnis et maximus in minimis*, substancialmente formulada de los conceptos vertidos por un antiguo filósofo cristiano, y que totalmente vemos realizada en la escala zoológica como en la botánica.



## APÉNDICE

### Breves indicaciones respecto á Técnica histológica vegetal.

El conjunto de manipulaciones que tienen por resultado hacer aptos para su detallada observación microscópica los elementos vegetales, constituye la *Técnica histológica vegetal*. Entre estos procedimientos, hay algunos que por su especialidad están fuera de los límites de estas ligeras indicaciones, encaminadas á servir de auxiliar complementario á los estudios precedentes.

Las operaciones que, prescindiendo de otras accesorias, pueden calificarse de fundamentales en técnica histológica, son:

La *fijación* de los elementos celulares; la *reducción* de las porciones del vegetal á secciones delgadísimas que por su transparencia hagan posible la percepción y observación de sus detalles; la acción de *coloraciones* adecuadas; *deshidratación*; el *aclaramiento*, y la *conservación* de las preparaciones obtenidas.

**Fijación.**—Es una operación que tiene por objeto sorprender por la acción de ciertos reactivos los elementos celulares, inmovilizándolos y conservando su forma y estructura. Esta operación precede siempre al teñido de los elementos protoplasma, núcleo, plasmitos, etc., á los cuales se dirige preferentemente la acción de aquélla; generalmente es también anterior á la obtención de cortes, y se efectúa sumergiendo los órganos, ó mejor fragmentos de los mismos en el líquido fijador durante un tiempo variable, subordinado á la dimensión de aquéllos, naturaleza de los tejidos, y composición del reactivo empleado. Cualquiera que sea el fijador, conviene se use en gran cantidad y renovarlo con frecuencia.

Son varios los líquidos fijadores empleados según las cir-

cunstancias: el *alcohol absoluto*; el *ácido crómico* al 2 por 100, empleado por Guignard para fijar los núcleos en el saco embrionario de las Mimoseas; el *ácido ósmico*, que al mismo tiempo sirve para aclarar las paredes celulares y el protoplasma, pero tiene el inconveniente de alterarse á las pocas horas de su acción; también con el mismo reactivo se han obtenido buenos resultados para fijar la forma de los organismos inferiores, colocándolos sobre un porta-objetos y sometiénolos, durante cinco minutos, á la influencia de los vapores de una solución al 1 por 100; el *sublimado corrosivo*, disuelto á saturación en agua, es como fijador de efecto muy rápido y de corta duración; la solución saturada de *ácido picrico*; el *bicromato potásico* en solución saturada en agua destilada; el *licor de Flemming* y la *mezcla de Fol*, que son disoluciones, en agua destilada, de los ácidos crómico, ósmico y acético, mezclados en distintas proporciones, fijan bien las figuras carioquinésicas; y por último, son indicados para la fijación de las algas el *líquido aceto-crómico*, según fórmulas de Wildeman ó de Pfeiffer, en el cual no deben permanecer sumergidas más de veinticuatro horas, y el líquido de Ripart y Petit, que al mismo tiempo sirve como conservador de las mismas. Hay otros muchos fijadores consignados en los tratados de microquímica.

A la fijación debe proceder un lavado escrupuloso de los materiales vegetales mediante una corriente de agua en grandes vasos si provienen de líquidos crómicos, y por alcoholes gradualmente concentrados cuando se han utilizado otros fijadores, á los cuales se añaden algunas gotas de una solución acuosa saturada de carbonato de litio en el caso en que la fijación ha sido pícrica.

**Reducción de los órganos vegetales á porciones delgadas.**— Puede realizarse por dos procedimientos: la *disociación*, y la *obtención de cortes*.

**α. Disociación.**—Esta puede ser *mecánica* y *química*.

Mecánicamente puede efectuarse la disociación desgarrando ciertas porciones del vegetal que, como la epidermis, puede destacarse en trozos mediante las pinzas, practicando una incisión superficial sobre el tallo ú hoja; los pelos separándolos simplemente; los jugos extrayéndolos del órgano vegetal que los contenga, etc. La disociación mecánica se opera también, colocando pequeños fragmentos del vegetal en una gota de un

líquido indiferente sobre un porta-objetos, y disgregándolos con el auxilio de las agujas, bien á simple vista, ó sirviéndonos del microscopio de disección.

Por disociación química se consigue el aislamiento de ciertos elementos anatómicos; así se obtiene en los tejidos jóvenes poco suberificados ó lignificados, macerándolos en una mezcla de tres partes de alcohol y una de ácido clorhídrico durante veinticuatro horas (Mangin) y lavándolos luego con oxalato amónico; en este caso el ácido clorhídrico descompone la materia intercelular formada de pectatos insolubles.

El ácido crómico en disolución acuosa concentrada, actuando medio minuto si los fragmentos son muy delgados, disocia los elementos celulares de los tallos. También la acción prolongada de las soluciones alcalinas, activada por la ebullición, disocia un gran número de tejidos; por ebullición en potasa al 4 por 100, durante media hora, se determina en las hojas la separación de la epidermis.

En los tejidos viejos en que los pectatos son difíciles de delatar, como sucede en los elementos libero-leñosos, la disociación se logra mediante el procedimiento denominado *maceración* de Schultze, que se reduce á colocar los trozos de tallo ó raíz objeto de estudio, cortados longitudinalmente en pequeños fragmentos, en un tubo de ensayo en el que se vierte ácido nítrico hasta recubrir aquéllos, y se añaden algunos cristallitos de clorato potásico, sometiendo todo á la acción del calor de una lámpara de alcohol hasta que se produzcan desprendimientos gaseosos rutilantes, en cuyo momento se retira el tubo hasta que el desprendimiento haya cesado completamente; se vierte luego su contenido en un vidrio de reloj ó probeta que contenga agua para hacer desaparecer por lavado el ácido; basta entonces colocar sobre el porta-objetos uno de los fragmentos, y ejercer sobre él una pequeña presión para disgregarlo en sus elementos constitutivos.

Por maceración en potasa, ácidos, ó agua que contenga el *Bacillus amylobacter*, se desprende la cutícula epidérmica en grandes trozos, y se aíslan también los vasos laticíferos, cuyo contenido, llamado *latex*, puede coagularse, si se quiere, por el calor, alcohol y fijadores usuales.

**aa. Obtención de cortes.**—La obtención de cortes es el procedimiento más frecuentemente empleado: el tamaño y la con-

sistencia de los objetos son condiciones no siempre adecuadas á la obtención de buenas secciones, por lo cual se requieren algunas operaciones preparatorias que faciliten en unos casos, la sujeción del órgano ó trozo vegetal que se ha de seccionar, y en otros, que modifiquen su consistencia ó ambas condiciones simultáneamente.

Hay varios procedimientos para obtener en los objetos consistencia adecuada: si son blandos y carnosos, se sumergen el tiempo necesario en un líquido indurante como el alcohol á cuya acción resisten pocos órganos (tallo de *Lathræa*), en cuyo caso se puede ensayar la congelación; los objetos muy duros y frágiles conservados en alcohol, se ablandan permaneciendo algún tiempo en una mezcla á partes iguales de glicerina y alcohol; si proceden de materiales de herbario, adquieren flexibilidad empleando la acción de una solución de potasa al 3 por 100 y glicerina, ó utilizando asimismo el ácido láctico calentado gradualmente sobre el porta-objetos; para el leño duro la impregnación por la gomo-glicerina, y para los tallos leñosos no excesivamente duros, es suficiente retirarlos del alcohol y colocarlos en agua fría que se calienta luego hasta la ebullición durante dos minutos y en la cual se los deja enfriar; el reblandecimiento de los objetos puede obtenerse también por maceración prolongada en líquidos alcalinos.

Si la dureza del objeto es excesiva, las secciones se obtienen por el método aplicado á la obtención de preparaciones microscópicas en Petrografía.

Para los objetos muy pequeños, así como para los excesivamente blandos y provistos de grandes lagunas, se acude á la *inclusión*, operación que consiste en sumergirlos en una sustancia líquida que al solidificarse, ó simplemente los envuelve, siendo la inclusión tan sólo un englobamiento, ó los penetra en su espesor, sirviendo como cemento interiormente y proporcionándoles el máximum de consistencia. Además de asegurar la dirección de las secciones en objetos muy pequeños y delicados, ofrecen las inclusiones la ventaja de facilitar la obtención de cortes seriados.

Son varias las sustancias que pueden servir como medios de inclusión: la goma arábica, gelatina, gelatina glicerinada, el jabón, etc., teniendo estas inclusiones por vía húmeda la ventaja de que los cortes recuperan rápidamente en el agua su



volúmen, forma y aspecto naturales, lo cual, al parecer, no se obtiene con los métodos anhidros (celoidina, parafina); además se hallan más en consonancia con las condiciones mesológicas de la célula, organismo propio para vivir en medios húmedos.

**Goma.**—La goma arábiga no debe ser muy seca; su disolución debe tener consistencia siruposa, y á ella puede agregarse algo de glicerina; por evaporación se obtiene la concentración; el objeto incluido se coloca sobre un trocito de medula de saúco ó madera, y después de dejarlo secar hasta que adquiera una consistencia conveniente, se sumerge en alcohol que provocará en la masa un endurecimiento tanto mayor cuanto más concentrado sea.

**Gelatina.**—Se dejan en el agua hojas de gelatina hasta que se hinchen y después se colocan en baño maría á temperatura moderada, en el que se funden por disolución en el agua de imbibición que contienen; el objeto se sumerge en la gelatina fundida manteniéndole á una temperatura de 30 á 40° el tiempo necesario para que la penetración se efectúe, al cabo del cual se vierte el todo sobre una cajita de papel en la cual se solidifica la gelatina por enfriamiento; de la masa solidificada se separa un bloque que contenga el objeto incluido y se adhiere á un trocito de madera ó medula de saúco, sumergiendo el conjunto en alcoholes cada vez más concentrados á partir del de 70°, en los cuales, al mismo tiempo que disminuye de volúmen, aumenta de consistencia hasta adquirir una dureza considerable.

**Gelatina glicerínada.**—En sustitución á la gelatina se emplea también la gelatina glicerínada, en cuya formación entra el agua y la glicerina en proporción mitad con relación á la gelatina glicerínada utilizada para el montaje. Para efectuar la inclusión se toman los objetos, frescos ó conservados en alcohol, y sea transversal ó longitudinalmente, se destaca de ellos una tercera parte próximamente de su masa para permitir el acceso de los líquidos, después de lo cual se les mantiene durante tres horas como máximo en gelatina glicerínada de consistencia de jarabe á 100° en baño maría; si es posible, se hace una ó dos veces el vacío sobre la masa para desalojar las burbujas de aire. Las manipulaciones siguientes son análogas á las indicadas para la gelatina.

**Jabón.**—Se mezcla glicerina y alcohol de 90° en volúmenes

iguales y se somete á una temperatura de 60 á 70°, en cuyas condiciones se disuelve hasta saturación jabón en polvo previamente expuesto al aire; agitando, se obtiene un líquido que debe ser transparente y de consistencia de jarabe. Las porciones del vegetal se sumergen en esta mezcla, aún caliente, sosteniendo la temperatura hasta que se hallen bien penetradas; se vierte luego todo en una cajita de papel en que por desecación se solidifica la masa, que se puede conservar en frascos cerrados y es fusible á 40°.

**Inclusión en celoidina.**—Se prepara la *solución normal* de celoidina disolviendo trozos de esta substancia perfectamente seca en una mezcla de alcohol absoluto y éter en volúmenes iguales hasta obtener la consistencia de jarabe espeso. Si el alcohol encierra algo de agua, la solución toma aspecto un poco lechoso.

La inclusión de los materiales previamente fijados y conservados en alcohol se realiza del modo siguiente (Cajal):

1.° Los trozos del tejido, que no pasarán de un centímetro de espesor, se les sumerge durante veinticuatro horas en una mezcla de éter y alcohol.

2.° Después permanecerán por veinticuatro á cuarenta y ocho horas en una primera solución de celoidina al 2 por 100.

3.° Durante dos, tres ó más días, atendido el volumen, se empaparán las piezas en una segunda solución de celoidina al 8 ó más por 100. Este líquido debe tener consistencia de espeso jarabe.

4.° Extraída la pieza de la celoidina, se montará inmediatamente (evitando la desecación del vehículo) sobre un corcho limpio y seco, ó sobre un trozo de madera. Pegada á tal soporte, quedará expuesta al aire, durante algunos minutos, á fin de que se condense un tanto más la celoidina envolvente.

5.° Los corchos ó maderas con los objetos pegados se introducirán en un frasco de boca ancha que contenga alcohol de 36°. Aquí permanecerán las piezas (que deben quedar envueltas por el alcohol) unas veinticuatro horas.

6.° Puesta la pieza con su soporte de corcho en la pinza porta-objetos del microtomo, se procederá á seccionarla, cuidando de lubricar la navaja con alcohol de 36°.

7.° Los cortes serán recogidos en agua, donde permanecerán hasta el momento de ser teñidos. Si esta operación se

realizara más tarde, la conservación de los cortes en el ínterin debe efectuarse en alcohol de 36°.

Si las piezas son muy pequeñas (3 ó 4 milímetros de espesor), puede prescindirse del primer baño de éter y de alcohol, y aun de la primera solución de celoidina.

**Inclusión en parafina.**—Son varios los procedimientos empleados para este objeto: en líneas generales, todos se reducen á obtener una completa y previa deshidratación del objeto que se trata de incluir, y que después, bajo la acción de un disolvente de la parafina mezclado con ésta en proporciones graduales, pasa á la parafina fundida como término definitivo; si el disolvente fuese la trementina, conviene advertir que entre los alcoholes disueltos tan sólo el alcohol absoluto se mezcla con ella en todas proporciones.

Además, las piezas incluidas en parafina tienen sobre las de celoidina la ventaja de adquirir una consistencia especial, pues es fácil reducirlas con el microtomo á secciones de 3 á 5 milésimas, particularmente si se utilizan el microtomo automático de Minot ó el de la Sociedad de Cambridge.

El orden de las operaciones para una buena inclusión en parafina, manipulando con fragmentos que no deben exceder de algunos milímetros de espesor cuando las paredes celulares son impermeables, son, según Moll, los siguientes:

Fijar en ácido crómico al 1 por 100 ó ácido pícrico saturado durante veinticuatro horas; lavado del ácido pícrico por alcohol de 20 á 40°, ó del crómico por agua durante cinco ó seis horas; pasar por los alcoholes de 20, 40, 60, 80, 95 y 100° lenta y sucesivamente; pasar sucesivamente á la esencia de trementina, después á la trementina saturada al frío de parafina; luego á una mezcla en partes iguales de trementina y parafina en fusión á 30 ó 40°: transcurrida una hora, se eleva la temperatura á 50 ó 55°, y, finalmente, á parafina fundida seis ú ocho horas.

Otro procedimiento muy rápido, pues es suficiente un día para obtener la inclusión, es el siguiente, en el cual es preciso operar á una temperatura de 55° en que se mantienen los objetos gracias á una estufa:

1.º, los materiales en fragmentos de un centímetro de espesor próximamente, se mantienen una hora en alcohol de 95°; 2.º, reducidos los trozos á la mitad de espesor, se les deja

una hora en alcohol absoluto; 3.º, renovar dicho alcohol y mantenerlos dos horas en este nuevo alcohol; 4.º, tres horas en alcohol deshidratado por medio del sulfato cúprico; 5.º, tres horas en parafina y xilol mezclados en volúmenes iguales; y 6.º, una hora en parafina fundida á 52º.

Otros muchos procedimientos pudiéramos indicar para incluir en parafina; pero anotaremos preferentemente el seguido por Cajal. Este sabio ordena las operaciones del modo siguiente:

1.º Las piezas convenientemente deshidratadas y fijadas se colocarán en una mezcla, á partes iguales, de alcohol y cloroformo. El cloroformo debe echarse después del alcohol, y á favor de una pipeta que penetrará hasta lo más hondo, á fin de constituir una capa profunda exclusivamente clorofórmica. En cuanto las piezas, que se mantendrán algún tiempo entre las dos zonas de alcohol y cloroformo, descendan del todo, pueden trasladarse:

2.º Al cloroformo puro, donde quedarán por seis á veinticuatro horas.

3.º Del cloroformo se trasladarán á una solución concentrada de parafina en cloroformo, donde se abandonarán por seis á veinticuatro horas.

4.º Después se conducirán á un baño maría (1) que contenga parafina derretida, y á temperatura apenas superior al punto de fusión. Aquí permanecerán, según las dimensiones, desde ocho horas á dos ó tres días.

5.º Extraída la pieza, se enfriará repentinamente, para que la materia de inclusión se solidifique en cristales finísimos (una solidificación lenta de cristales espesos que estropean los elementos); luego se montará en un bloque de parafina, al cual se pegará mediante un escalpelo caliente, terminando la operación, recubriendo la superficie de la pieza con una capa de parafina de 3 ó 4 milímetros de espesor.

6.º Antes de poner la pieza en el microtomo, se tallará en cuadradillo, procurando que una de las caras se dirija hacia adelante. El filo de la navaja deberá ser paralelo á dicha superficie, es decir, perpendicular á la resbaladera, disposición

(1) Utilízase de preferencia el baño maría de Giesbrecht ó de Nápoles, el cual está provisto de termo-regulador de mercurio, termómetro, etc.

que favorece singularmente la obtención de series ó cintas de cortes.

7.º Los cortes se llevan á un porta-objetos, se lavan con esencia de trementina ó xilol para quitarles la parafina, y se montan al bálsamo. Se supone, naturalmente, que la pieza fué teñida en masa antes de la inclusión. Ya veremos luego cómo se logra el teñido individual de los cortes.

*Observaciones.*—1.ª El cloroformo y la solución de parafina en cloroformo se emplean, antes de la inmersión en el baño de parafina, para facilitar la penetración de ésta en el trama del tejido. Pero pueden utilizarse con tal fin todos los disolventes de la parafina: la esencia de trementina, la esencia de clavo, la esencia de cedro, el xilol, el petróleo, el toluol, etc. El modo de empleo de estos agentes será igual que el del cloroformo.

2.ª Los cortes de parafina tienen, á veces, tendencia á arrollarse, imposibilitando el logro de las series. Los remedios propuestos son muchos. He aquí algunos:

Se evita dicho enrollamiento, superponiendo á la pieza suavemente y mientras se corta, un pincel ancho y flexible. La navaja pasa entonces por debajo de éste, y el corte queda plano.

Se aconseja también tallar en prisma triangular, de arista aguda anterior, el bloque de parafina; con lo que, si el corte se desarrolla en espiral, podrá desenrollarse á un suave calor en el porta-objetos, teniendo la precaución de poner el lado ancho y la base de la espiral hacia abajo.

Un procedimiento que, para pequeñas piezas, ha dado á Cajal buenos resultados, es formar la costra exterior de parafina de capas alternadas (por sumersión y rápido enfriamiento de la pieza) de parafina dura y blanda.

Pero el mayor remedio es usar una parafina cuyo punto de fusión guarda relación con la temperatura del ambiente. Bajo las altas temperaturas del verano (25 á 30º) convendrá una parafina que funda á 55º; en pleno invierno (10 á 12º) se preferirá la parafina que funda á 45º; finalmente, con temperatura de transición (18 á 22º) se ensayarán con ventaja parafinas de punto de fusión de 48 á 50º, ó mezclas, previamente ensayadas de parafinas dura y blanda.

Las inclusiones indicadas son innecesarias cuando el órgano

vegetal, por sus condiciones de magnitud y consistencia, es apto para obtener secciones, colocándolo sencillamente entre fragmentos de medula de saúco.

Los cortes se obtienen mediante navajas adecuadas, y la sujeción de los objetos con la masa incluyente se asegura gracias á los aparatos auxiliares, en general indispensables, denominados microtomos, ya de mano ó ya automáticos, cuya descripción y detalles operatorios pueden verse en las obras de Técnica micrográfica; como indicación general, puede añadirse que tanto la navaja como la superficie que se trata de seccionar conviene se hallen constantemente lubricadas por agua, alcohol, éter, etc., según las circunstancias.

Obtenidos los cortes, se recogen en agua ó alcohol y pueden observarse en fresco colocándolos directamente sobre el porta-objetos en una gota de agua, glicerina ó líquido aceto-glicérico (mezcla de dos partes de glicerina y una de ácido acético), y recubiertos por la laminilla; pero cuando se trata de hacer una preparación definitiva, y su estudio más completo, se exige un conjunto de operaciones en caminadas á delatar la presencia de elementos ó sustancias que no pueden percibirse directamente y asegurar la conservación de aquélla.

Así, por ejemplo, para estudiar la membrana celular se provoca la *contracción* del protoplasma por medio del alcohol diluído, agua azucarada ó solución acuosa débil al 10 por 100 de clorato potásico, la glicerina, el ácido sulfúrico (que al mismo tiempo dilata la membrana celulósica), etc.; exceptuando el agua azucarada, los demás reactivos indicados matan el protoplasma, resistiendo algún tiempo los hidroplastos que pueden hacerse perfectamente visibles; la acción del alcohol debe ser lenta; los ácidos minerales se comportan del mismo modo, pero con menos energía. La observación de ciertas sustancias que, como la inulina, esparraguina, glucógeno, disueltos en el jugo celular, requiere la previa *crystalización* de las mismas en el interior de las células, se consigue empleando soluciones saturadas de la misma sustancia que se trata de revelar, bien de otra distinta como la maceración en alcohol absoluto ó diluído, ó ya por desecación lenta. Para caracterizar los azúcares se acude al líquido de Fehling hirviendo (véase pág. 176) que le reducen formando un precipitado rojo de óxido cúprico si son glucosas, y formándose un líquido azul claro si son sa-

carosas (1). La *precipitación* por el bicromato potásico, sales de hierro, hacen manifiestos los taninos; los alcaloides se reconocen también precipitándolos por el yoduro de potasio yodurado, ácido fosfomolibdico, etc., á lo cual debe seguir el tratamiento por alcohol acidulado con ácido tártrico, que disolviendo los precipitados formados coagula las materias albuminoideas, que por la semejanza en sus reacciones pudieran confundirse con aquéllos. La *disolución* se aplica bien para la determinación de ciertas sustancias, ó bien para observarlas claramente cuando se hallan envueltas ó veladas por otras: el alcohol disuelve el aceite del albumen del ricino, haciendo más distintamente perceptibles los granos de aleurona; éstos se disuelven total ó parcialmente en el agua (si no han sido tratados previamente por bicloruro de mercurio) y completamente en potasa muy diluída, solución que en cambio hincha los granos de almidón, cuyo efecto se logra en los de aleurona mediante el ácido acético cristalizable; el éter y las esencias son en general disolventes de las materias grasas; el alcohol, cloroforno y bencina de las resinas y esencias. Y, finalmente, el hipoclorito sódico ataca todas las materias albuminoideas contenidas en las células, determinando una *destrucción* ó vaciado de éstas que favorece el estudio de la disposición que las células adoptan en los tejidos que integran.

**Acción de los colorantes.**—Análogo por su objeto á los procedimientos indicados, pero que su aplicación más constante y general hacen de él un complemento poderoso y en general indispensable en los estudios micrográficos, es el de *coloración* ó teñido de las preparaciones, método fundado en la aptitud selectiva de los elementos celulares para distintas materias colorantes.

El teñido puede operarse sobre los fragmentos vegetales después de sometidos á la fijación y antes de incluirlos si exigen esta manipulación, ó más frecuentemente sobre los cortes obtenidos; en todos los casos, á toda coloración debe proceder un lavado escrupuloso en agua pura destilada ó acidulada, alcohol, etc., según las circunstancias. Para dar fijeza y solidez á las coloraciones retenidas por los elementos celulares, se emplean

(1) Actuando más tiempo el reactivo, la sacarosa se *invierte* por la ebullición, dando entonces la reacción indicada de la glucosa.

mordientes como el tanino, cloruro de zinc, ácido crómico y cromatos solubles, ácido pícrico, cloruro mercúrico, alumbre, etc.

El líquido colorante puede originar una sola coloración más ó menos uniforme en todas las partes que actúa, ó en otros casos producir distintos teñidos, dando lugar á dobles coloraciones, como sucede con el cloroyoduro de zinc, que fijándose á la vez en las membranas celulósicas y en las lignificadas, tiñe aquéllas de azul violado y éstas de amarillo parduzco. Las dobles coloraciones se obtienen más generalmente por la acción sucesiva ó simultánea de dos soluciones colorantes; debe evitarse asociar dos de éstas que, fijándose sobre las mismas porciones, originen matices mixtos, ó que actuando sobre distintos elementos produzcan coloraciones análogas.

Al hacer el estudio detenido de los elementos celulares, quedan detallados los reactivos especiales, por cuya razón será suficiente indicar ahora algunos métodos de aplicación de éstos, que pueden distribuirse en dos grupos, según que se dirija la investigación á la célula con su contenido, ó se limite á la disposición que las células afectan en los tejidos, en cuyo caso tan sólo interesa la membrana celular.

El procedimiento de coloración del contenido celular indicado por Strasburger, es el siguiente: fijados los objetos por una solución al 1 por 100 de ácido crómico durante varias horas, se les somete á un escrupuloso lavado con agua destilada, renovándola frecuentemente en un espacio de tiempo igual; varias de las secciones obtenidas se colocan en un pocillo que contenga una solución de carmín borácico durante varias horas, y las demás en otro platillo provisto de una solución de hematoxilina, examinando con frecuencia al microscopio el grado de coloración que vayan adquiriendo, y si fuese excesivo se rebaja, llevándolos al agua pura, solución acuosa de alumbre ú otra muy débil de ácido clorhídrico, en cuyos líquidos se abandona el corte el tiempo necesario; si se ha empleado el agua acidulada, el lavado debe ser ligeramente amoniacal.

Observadas las preparaciones teñidas por la hematoxilina en una gota de glicerina ó gelatina glicerinada colocada en el porta-objetos y recubierta por la laminilla, se manifiestan los núcleos intensamente teñidos por la hematoxilina, así como



también los microsomas, y los cristales albuminoideos (pirenóides) encerrados en los plasmitos, permaneciendo incoloros los granos de almidón.

Las secciones tratadas por el carmín borácico, utilizando el líquido de Hoyer en sustitución á la glicerina ó gelatina glicerinada del caso anterior, presenta los núcleos celulares con mucha claridad; el protoplasma y los plasmitos permanecen incoloros, observándose en estos últimos el cristal albuminoideo refringente que contiene en su interior, rodeado de una capa que con el yodo ofrece la reacción del almidón; gracias á la mezcla con el borax, no tiñe el carmín las membranas; los granos de aleurona se coloran de rojo intenso.

En los objetos conservados en alcohol según el mismo autor, se obtiene una doble coloración colocando las secciones sobre el porta-objetos en una gota de fuchsina-verde de yodo en solución alcohólica que se deja escurrir al cabo de un minuto, observando, después de bien seca, la preparación en una gota de glicerina; el citoplasma y el paranucleolo se coloran en rojo, y en azul la nucleína; las preparaciones así obtenidas, aunque muy instructivas, son inferiores á las teñidas empleando la zafranina y la hematoxilina en cuanto á la nitidez de las imágenes.

La solución al 1 por 100 de eosina puede usarse para teñir el protoplasma, y asociada á la hematoxilina que colorea los núcleos, se producen dobles coloraciones.

Las anilinas básicas en general (fuchsina, zafranina, violeta de genciana, azul de metileno) tiñen fácilmente los núcleos empleándolas en soluciones acuoso-acéticas débiles ó acuoso-alcohólicas muy concentradas (Cajal); las materias que tiñen el protoplasma interrumpen su vitalidad con pocas excepciones, como la cianina ó azul de quinoleína.

Si tan sólo se trata de estudiar la membrana celular, puede prescindirse del contenido de las células destruyéndolo por medio de reactivos, que por tal razón aclaran las secciones en que tan sólo prevalece lo que pudiera llamarse el armazón de los tejidos; en tal concepto, son muy curiosos los métodos de doble coloración siguientes:

Según Colomb, los cortes se van pasando sucesivamente por:  
 1.º, hipoclorito sódico (cinco ó seis minutos como máximo);  
 2.º, dos lavados sucesivos en agua pura, mejor destilada (cinco

minutos); 3.º, paso rápido por verde de yodo en solución acuosa concentrada; 4.º, lavado en agua (cinco minutos); 5.º, sumersión en solución acuosa concentrada de carmín aluminico de Grenacher (diez minutos como minimum); 6.º, lavado en agua (dos minutos); 7.º, alcohol absoluto (cinco ó seis minutos); y 8.º, montaje en glicerina ó en bálsamo del Canadá.

El hipoclorito, cuerpo oxidante, destruye rápidamente todas las substancias orgánicas contenidas en la célula, obrando como aclarador por esta circunstancia; si los tejidos son viejos y muy diferenciados, el corte puede permanecer en él cinco ó seis minutos; pero si son jóvenes y sus membranas celulares delgadas, conviene atenuar su acción violenta y destructora por adición de agua. El lavado siguiente sirve para despojar al corte del hipoclorito que le impregna, y que se opondría á la acción de las materias colorantes; puede emplearse también el agua destilada con 1 por 100 de ácido acético.

El verde de yodo se fija enérgicamente en las membranas lignificadas; el lavado sustrae el exceso que de dicho colorante se extiende á los demás tejidos. El carmín aluminico tiñe de color rojo vivo las membranas celulósicas; el lavado debe ser rápido por la solubilidad en el agua del colorante.

El alcohol puede emplearse en dos veces: primero de 90º (dos minutos), y luego el absoluto; al mismo tiempo que deshidrata el tejido, disuelve el verde de yodo excedente que haya prevalecido á los lavados, fijando el retenido por la lignina y más principalmente el carmín á la celulosa; el alcohol desaloja al mismo tiempo las burbujas de aire.

Otro método seguido por Colomb consiste en sustituir el verde de yodo, empleado anteriormente, por la solución acuosa de fuchsina amoniaca (en que el amoniaco sirve de vehículo para facilitar la penetración de la fuchsina en la membrana lignificada), actuando durante cuatro minutos sobre los cortes; y el carmín aluminico por el azul de anilina (tres minutos). Este método tiene el inconveniente de que el azul de anilina, además de fijarse en las membranas celulósicas, lo hace también en las lignificadas, en que se fija exclusivamente la fuchsina amoniaca, originando en ellas una coloración mezcla de ambos colorantes, por lo que la separación de los teñidos no es tan distinta como en el procedimiento anterior, además de que los

colores de anilina, aunque brillantes, no se prestan á una conservación duradera por su poca solidez.

La asociación de la fuchsina amoniacal con el carmín aluminico ofrece una coloración casi uniforme, pues tanto las membranas lignificadas de la primera, como las celulósicas que fijan la segunda, toman coloración roja.

Girod propone para colorear los dos métodos siguientes:

I. Los cortes puestos sobre el porta-objetos en una gota de agua se tratan, previa separación de ésta, por unas gotas de ácido acético, después por violeta de doble coloración durante cinco ó seis minutos y luego se lavan abundantemente en agua destilada, y finalmente, en alcohol absoluto hasta que no se colore este líquido, que, en tal momento se sustituye por una gota de esencia de clavo, y ésta por otra de bálsamo del Canadá.

II. En él se reemplaza el violeta de doble coloración por cloroyoduro de zinc (cuatro ó cinco minutos), después de lo cual se lleva el corte á la glicerina y se recubre por la laminita cuyos bordes se obstruyen con silicato de potasa.

**Deshidratación.**—Al teñido y consiguientes lavados de las preparaciones debe seguir su deshidratación, que se obtiene haciéndolas pasar sucesivamente por dos ó tres alcoholes (36, 80 y 90°) de gradual y creciente concentración hasta el absoluto.

**Aclaramiento.**—Obtenida una deshidratación completa, los cortes deben aclararse. Los reactivos aclaradores lo son, ya por las disoluciones que determinan, ó ya por modificar el índice de refracción del tejido, atenuando las diferencias que existen entre los de las distintas substancias que contiene.

Aclaradores disolventes son los álcalis como el *amoníaco* y la *potasa*, empleada ésta en solución acuosa para el protoplasma, si bien ejerce preferentemente su acción sobre las membranas celulósicas, y aquél para los tejidos delicados; el *ácido acético*, que favorece el estudio del núcleo destacándolo perfectamente del protoplasma; la *glicerina*, cuyo papel aclarador es más intenso mezclándola con ácido acético; el *fenol*, aplicable al examen de los micro-organismos; el *ácido crómico*, en la epidermis, cutícula, cubiertas de los granos de polen, y en general todos los tejidos suberificados y lignificados; el *ácido fénico*, que se emplea mezclado á un volumen igual de alcohol, pues solo, el aclaramiento es excesivo.

Las esencias son agentes muy importantes en el aclaramiento de los tejidos por su doble acción de disolventes y compensadores de los índices de refracción de las diversas substancias que aquéllos contengan; los bálsamos presentan gran analogía con ellas en tales efectos. Debe emplearse la esencia adecuada á cada caso particular: así, la esencia de clavo, además de disolver las anilinas, se evitará también en el aclaramiento de cortes incluídos en celoidina cuando se trate de conservar esta substancia por exigencias de la naturaleza del tejido, como la de ser muy lagunoso, etc.; en cuyo caso se aplica la creosota como aclarador que hace transparente la celoidina; en cambio, en los cortes teñidos por anilinas, las esencias de xilol, trementina, bergamota, etc., convienen perfectamente. Aparte de estos casos, la esencia de clavo es de uso muy ventajoso y frecuente. Hay otras muchas esencias utilizadas como aclaradores (orégano, cedro, espliego, etc.), y soluciones en xilol ó bencina de bálsamo del Canadá, resina d'Ammar, etc. Si la deshidratación hubiera sido algo deficiente, se harían opacas las preparaciones al pretender aclararlas en las esencias.

**Conservación ó montaje de las preparaciones.**—Se verifica aislando las secciones ó cortes del medio atmosférico en una materia conveniente más ó menos fluida.

La *glicerina* como líquido conservador ofrece la ventaja de servir, aunque de un modo secundario, como aclarante; su acción es más bien temporal, más corta aun cuando se ejerce sobre teñidos de anilinas, á la mayor parte de las cuales disuelve. También se usa como medio de conservación la *gelatina glicerinada*; las dos substancias deben ser absolutamente neutras, y los cortes deben colocarse en glicerina muy diluída que se deja concentrar al aire antes de sumergirlos en la glicerina definitiva ó en la gelatina glicerinada. Se recubren luego con la laminilla, y en los conservados en glicerina es preciso ocluir los bordes de aquéllas con parafina fundida, silicato de potasa, etc., que al solidificarse cierran la preparación, pudiendo reforzar con betún de Judea, solución alcohólica espesa de lacre, etc.

El *bálsamo del Canadá* es más eficaz para conservar las preparaciones; se usa disuelto en xilol en solución concentrada; los cortes deben estar completamente desprovistos de agua y de alcohol, y permanecer algunos minutos sumergidos en el

disolvente del bálsamo antes de ser incluidos en éste. La *resina d'Amarr* en su aplicación es análoga al bálsamo del Canadá.

La *goma de Hoyer* conserva perfectamente las coloraciones de anilina; está formada por goma arábiga y solución acuosa al 50 por 100 de acetato potásico. El líquido de Geoffroy, compuesto en cien partes de agua por diez de hidrato de cloral y tres á cuatro de gelatina, tiene gran aplicación para conservar los cortes teñidos al carmín y verde de yodo, así como las preparaciones de algas y hongos.

Todos estos medios de conservación no exigen barniz ni mastic alguno para cerrar las preparaciones.

**Seriado de cortes.**—Para el montaje de los cortes en serie se aconsejan manipulaciones especiales, mediante las cuales se facilita su ordenada distribución.

*a. Cortes á la celoidina.*—Estos, según Cajal, pueden seriarse con sólo recogerlos en una sucesión ordenada y numerada de pocillos de cristal ó de porcelana. En cada pocillo sufrirá el corte todas las operaciones de teñido, lavado, deshidratación, aclaración; y si son pocos, se lubrican en una gota de bálsamo y se cubre con una laminilla. Mas si los cortes son numerosos y se desea montarlos en serie, una vez aclarados y ordenados sobre el cristal, se mojan con bálsamo al xilol á poca concentración, y al cuarto de hora se protege el preparado con el cubre objetos lubricado en bálsamo ordinario.

Otro procedimiento consiste en trasladar los cortes al porta-objetos á medida que son obtenidos, cuidando de que se mantengan húmedos en el alcohol de 36°. Deshidratados todos juntos con alcohol absoluto sobre el mismo portá, se aclaran con esencia de orégano, que se quita con el xilol. Cubierta la preparación con un cubre-objetos untado de bálsamo, la serie no se desarreglará, porque el alcohol absoluto, reblandeciendo la celoidina, mantiene adherentes los cortes al cristal.

Y por último, para series largas y delicadas, se prefiere el método de Weigert, que consiste:

1.º En colocar los cortes empapados en alcohol de 36° sobre una hoja de papel *closet*.

2.º Dicho papel (siempre húmedo con alcohol flojo), con los cortes hacia abajo, se coloca sobre una lámina de cristal colodionada como las empleadas por los fotógrafos para dar

brillo; y apretando el papel sobre el colodión, los cortes se adhieren en cuanto aquél se despega.

3.º El cristal y los cortes (que no deben secarse) se cubrirán de una nueva capa de colodión, la cual se dejará coalugar durante algunos minutos.

Y 4.º Puestos los cristales en el agua (antes de secarse el colodión) se desprenderá fácilmente la película del colodión con todos los cortes, pudiéndose ejecutar en ella, como si se tratara de un sólo corte, todas las operaciones de coloración, deshidratación, aclaración y montaje, habiendo de advertir que para aclarar se hace preciso usar la creosota, que transparenta mucho y no ataca á la celoidina.

*aa. Cortes á la parafina.*—La cinta de cortes obtenidos con los microtomos automáticos, según se ha indicado, se pegan al porta-objetos con el líquido siguiente:

#### Licor de Schallibaun.

|                        |   |
|------------------------|---|
| Colodión normal. ....  | 1 |
| Esencia de clavo. .... | 3 |

Se lubrica con esta mezcla, en capa delgadísima, el porta-objetos; y como este licor tiene la propiedad de no secarse á la temperatura ordinaria y de coagularse rápidamente, resulta que, fijadas las series, llévase la preparación á un baño de maría (56 á 60º), donde á la media hora se habrá evaporado la esencia y endurecido la capa de colodión.

Finalmente, se extrae la parafina con la esencia de trementina, y se cubre el preparado con una laminilla untada de bálsamo.

# INDICE DE MATERIAS

|              |          |
|--------------|----------|
|              | Páginas. |
| PROEMIO..... | V        |

## INTRODUCCION

|   |         |
|---|---------|
| I.—Consideraciones respecto á los seres naturales.              |         |
| Naturaleza.....   | 1       |
| Seres naturales.....  | 1       |
| División.....   | 1       |
| Organización.....   | 2       |
| Organismo.....  | 2       |
| Vida.....   | 3       |
| Origen de la vida.....  | 4       |
| Manifestaciones de la vida.....                                 | 5       |
| Vida activa y latente.....                                      | 6       |
| Vida aerófila (aerobia) y aerófoba (anaerobia).....             | 7       |
| Vida asfíxica.....  | 7       |
| II.—Diferencias más características entre animales y vegetales. |         |
| Carácter esencial de los vegetales.....                         | 9       |
| Distinción con los animales.....                                | 12      |
| Cuadro comparativo diferencial... ..                            | 16 y 17 |
| III.—División y subdivisiones establecidas en la Botánica.      |         |
| Definición de la Botánica.....                                  | 18      |
| Importancia.....  | 18      |
| División.....   | 18      |

## CITOLOGÍA VEGETAL

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Definición.....                    | 25 |
| Concepto químico de la célula..... | 25 |
| Elementos citológicos.....         | 26 |
| a.—Químicos.....                   | 26 |
| I.—Método analítico.....           | 26 |

|  |    |
|--|----|
| II.—Método sintético.....              | 27 |
| αα.—Orgánicos.....                     | 28 |
| Conceptos anatómico y fisiológico..... | 29 |
| Partes de la citología.....            | 31 |

## PARTE PRIMERA

### MORFOLOGÍA CELULAR

#### SECCION PRIMERA

##### MEMBRANA CELULAR

#### CAPITULO PRIMERO

|  |    |
|--|----|
| Origen.....  | 33 |
| Forma.....   | 34 |
| Crecimiento de la membrana.....  | 38 |
| α.—En superficie.....  | 38 |
| αα.—En espesor.....  | 38 |
| Modos de espesamiento.....   | 39 |
| Espesamiento centrípeto.....   | 39 |
| Esculturas en relieve.....   | 40 |
| Esculturas en hueco.....   | 41 |
| Puntuaciones.....  | 42 |
| α.—Ordinarias.....   | 43 |
| αα.—Areoladas.....   | 44 |
| ααα.—Cribosas.....   | 52 |
| Formación de la criba.....   | 52 |
| Disposición de los tabiques cribosos y repartición de las cribas contenidas..... | 55 |
| Células anejas.....  | 56 |
| Espesamiento centrífugo.....   | 59 |
| Espesamiento mixto.....  | 61 |

#### CAPITULO II

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Estructura de la membrana..... | 62 |
| Propiedades físicas.....       | 64 |
| Propiedades químicas.....      | 65 |



|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Cristalización de la celulosa..... | 66 |
| Principios pécticos.....           | 69 |
| Gomas.....                         | 71 |
| Mucílagos.....                     | 72 |
| Callosa.....                       | 75 |

### CAPITULO III

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Modificaciones de la membrana..... | 76 |
| Cutinización.....                  | 77 |
| Suberización.....                  | 77 |
| Gummificación.....                 | 79 |
| Gelificación.....                  | 80 |
| Liquefacción.....                  | 81 |
| Lignificación.....                 | 81 |
| Principios lignificantes.....      | 82 |
| Cerificación.....                  | 84 |
| Mineralización.....                | 85 |
| Coloración.....                    | 87 |

## SECCION SEGUNDA

### PROTOPLASMA

#### CAPITULO PRIMERO

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| Etimología y definición.....    | 89  |
| Origen.....                     | 89  |
| Importancia.....                | 89  |
| Estructura.....                 | 91  |
| Propiedades físicas.....        | 93  |
| Propiedades químicas.....       | 96  |
| <i>a.</i> —Composición.....     | 97  |
| <i>aa.</i> —Reacciones.....     | 99  |
| <i>aaa.</i> —Inestabilidad..... | 100 |
| Propiedades fisiológicas.....   | 100 |
| <i>a.</i> —Movimientos.....     | 101 |
| <i>aa.</i> —Irritabilidad.....  | 106 |
| Derivados del protoplasma.....  | 106 |

## CAPITULO II

|   | Páginas. |
|---|----------|
| Plasmitos.....                                | 107      |
| Cromoplasmitos.....                           | 108      |
| I. Cloroplasmitos.....                        | 109      |
| Origen y multiplicación.....                  | 109      |
| Forma.....                                    | 110      |
| Pigmentos.....                                | 111      |
| Obtención de la clorofila.....                | 112      |
| Formación.....                                | 114      |
| $\alpha$ .—Condiciones extrínsecas.....       | 114      |
| $\alpha\alpha$ .—Condiciones intrínsecas..... | 115      |
| Propiedad del pigmento en el plasmito.....    | 116      |
| Empleo de las radiaciones absorbidas.....     | 117      |
| Asimilación del carbono.....                  | 119      |
| Almidón.                                      |          |
| Origen.....                                   | 121      |
| Formación.....                                | 123      |
| Caracteres físicos.....                       | 124      |
| Caracteres químicos.....                      | 126      |
| Digestión amilácea.....                       | 130      |
| I.—Digestión natural.....                     | 131      |
| Transformaciones hidrolíticas.....            | 131      |
| $\alpha$ .—Profásicas.....                    | 131      |
| $\alpha\alpha$ .—Metafásicas.....             | 133      |
| II.—Digestión artificial.....                 | 136      |

## CAPITULO III

|   |     |
|---|-----|
| 2. Cromoplasmitos clorofílicos con otros pigmentos asociados..... | 137 |
| 3. Cromoplasmitos aclorofílicos.....                              | 139 |
| Amiloplasmitos.....   | 140 |
| Eleoplasmitos.....  | 142 |
| Hidroplasmitos.....   | 143 |
| Plasmitos en reserva.....   | 145 |
| Granos de aleurona.....   | 145 |
| Origen.....   | 145 |
| Caracteres.....   | 146 |
| Estructura.....   | 147 |
| $\alpha$ .—Substancia fundamental.....                            | 148 |

|  | Páginas. |
|--|----------|
| <b>aa.—Inclusiones.....</b>                    | 150      |
| Aleuro-cristaloides.....                       | 150      |
| Globoides.....                                 | 150      |
| Cristales de oxalato de cal.....               | 151      |
| Cristaloides ó albuminoides cristalizados..... | 152      |
| Materias grasas.....                           | 155      |
| Materias minerales.....                        | 158      |
| Oxalato de cal.....                            | 159      |
| Carbonato de cal.....                          | 160      |
| Sulfato de cal.....                            | 161      |
| Fosfato de cal.....                            | 161      |
| Sílice.....                                    | 162      |
| Azufre.....                                    | 162      |

## SECCION TERCERA

### JUGO CELULAR

#### CAPITULO PRIMERO

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| Jugo celular.....              | 162 |
| Desarrollo.....                | 162 |
| Desaparición del jugo.....     | 165 |
| Hidroplasmitos pulsátiles..... | 166 |
| Productos ternarios.....       | 166 |
| I.—Hidratos de carbono.....    | 167 |
| α.—Exanas.....                 | 168 |
| Inulina.....                   | 168 |
| Glucógeno.....                 | 171 |
| Galactana.....                 | 172 |
| aa.—Azúcares.....              | 172 |
| I.—Diexosas.....               | 172 |
| Sacarosa.....                  | 172 |
| Maltosa.....                   | 173 |
| Trehalosa ó micososa.....      | 173 |
| Lactosa.....                   | 173 |
| II.—Exosas.....                | 174 |
| Dextrosa.....                  | 174 |
| Levulosa.....                  | 174 |
| Galactosa.....                 | 175 |
| III.—Manitas.....              | 178 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| Floroglucina.....        | 179 |
| Inosita.....             | 179 |
| xxx.—Pentosanas.....     | 179 |
| Pentosas.....            | 180 |
| 2. Glucósidos.....       | 180 |
| 3. Taninos.....          | 183 |
| Aldehidos.....           | 188 |
| 4. Acidos vegetales..... | 189 |
| Acido oxálico.....       | 191 |
| — málico.....            | 193 |
| — tártrico.....          | 193 |
| — cítrico.....           | 194 |
| — fórmico.....           | 194 |
| — agállico.....          | 195 |
| — fosfo-orgánico.....    | 195 |

## CAPITULO II

|  |     |
|--|-----|
| Albuminoides disueltos.....                                      | 196 |
| Diastasas.....   | 198 |
| I.—Diastasas hidratantes.....                                    | 205 |
| 1. <sup>o</sup> Hidrasas actuando sobre hidratos de carbono..... | 205 |
| 2. <sup>o</sup> Hidrasas de glucósidos.....                      | 206 |
| 3. <sup>o</sup> Hidrasas sobre taninos.....                      | 208 |
| 4. <sup>o</sup> Hidrasas sobre cuerpos grasos.....               | 209 |
| 5. <sup>o</sup> Hidrasas sobre sustancias albuminoides.....      | 210 |
| <i>Diastasas deshidratantes</i> .....                            | 212 |
| II.—Diastasas analíticas.....                                    | 212 |
| <i>Diastasas sintéticas</i> .....                                | 213 |
| III.—Oxidasas.....   | 213 |
| IV.—Reductasas.....  | 215 |

## CAPITULO III

|   |     |
|---|-----|
| Substancias metamórfico-regresivas de los albuminoides..... | 216 |
| 1.—Peptonas.....  | 217 |
| 2.—Amino-ácidos.....  | 217 |
| Esparraguina.....   | 218 |
| Leucina.....  | 219 |
| Tirosina.....   | 220 |
| Glutamina.....  | 220 |
| 3.—Alcaloides.....  | 220 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.—Compuestos púricos .....              | 224 |
| Xantina.....                             | 224 |
| Sales minerales.....                     | 225 |
| Pigmentos vegetales.....                 | 228 |
| Pigmentos citoplásmicos localizados..... | 229 |
| Pigmentos citoplásmicos difusos.....     | 230 |
| Pigmentos hidoplásmicos.....             | 231 |
| Matices.....                             | 231 |
| Función de los pigmentos..               | 232 |

## CAPITULO IV

|                   |     |
|-------------------|-----|
| Ceras.....        | 233 |
| Eteres.....       | 235 |
| Esencias.....     | 236 |
| Resinas.....      | 239 |
| Oleo-resinas..... | 240 |
| Gomo-resinas..... | 240 |
| Bálsamos.....     | 240 |

## SECCION CUARTA

### NÚCLEO

#### CAPITULO ÚNICO

|   |     |
|---|-----|
| Posición.....   | 244 |
| Forma.....  | 245 |
| Dimensión.....  | 246 |
| Movimientos.....  | 247 |
| Estructura.....   | 247 |
| 1. <sup>a</sup> —Membrana nuclear.....                      | 247 |
| 2. <sup>a</sup> —Carioplasma.....                           | 247 |
| 3. <sup>a</sup> —Filamento nuclear.....                     | 249 |
| α.—Posición del filamento nuclear.....                      | 249 |
| αα.—Estructura del filamento nuclear.....                   | 250 |
| Opiniones diversas respecto á la estructura del núcleo..... | 252 |
| 4. <sup>a</sup> —Nucleolos.....                             | 254 |
| 5. <sup>a</sup> —Esferas directrices.....                   | 255 |
| Composición y propiedades químicas del núcleo.....          | 256 |

|   |     |
|---|-----|
| Relaciones entre el citoplasma y el núcleo.....   | 260 |
| $\alpha$ . — Nutritivas.....                      | 260 |
| $\alpha\alpha$ . — Reproductoras.....             | 262 |
| Energidas.....                                    | 263 |
| Interpretación de las células multinucleadas..... | 265 |
| Origen del núcleo.....                            | 265 |
| Ausencia del núcleo.....                          | 266 |

## PARTE SEGUNDA

### FISIOLOGÍA CELULAR

#### SECCION PRIMERA

##### FENÓMENOS FÍSICOS EXTERNOS

##### CAPITULO PRIMERO

|   |     |
|---|-----|
| Fisiología celular.....   | 267 |
| Fenómenos físicos externos.....   | 268 |
| Pesantez.....   | 269 |
| Radiación.....  | 271 |
| Métodos para hacer actuar sobre la planta radiaciones de refrangibilidad determinada..... | 275 |
| Efecto mecánico.....  | 279 |
| I.—Acción térmica.....  | 279 |
| Mecanismo de la absorción calorífica.....   | 280 |
| Acción equilateral.....   | 280 |
| Intensidad térmica.....   | 281 |
| Hielo y deshielo de la célula.....  | 285 |
| Acción inequilateral.....   | 287 |
| II.—Acción luminosa.....  | 288 |
| Primer caso.—Células en vías de crecimiento.....  | 288 |
| Acción equilateral.....   | 289 |
| Acción inequilateral.....   | 290 |
| Segundo caso.—Células en completo desarrollo...   | 292 |
| Efecto químico.....   | 296 |

## CAPITULO II

|   | Páginas. |
|---|----------|
| Alimento.....   | 299      |
| Forma asimilable de los elementos del medio externo.....                  | 299      |
| Carbono.....  | 300      |
| Oxígeno.....  | 300      |
| Nitrógeno.....  | 301      |
| Asimilación del nitrógeno atmosférico por los bacteroides.....            | 304      |
| Multiplicidad de variedades de bacteroides.....                           | 308      |
| Otros organismos fijadores de nitrógeno.....                              | 308      |
| Nitrógeno combinado.....  | 310      |
| $\alpha$ .—Células desprovistas de materia verde.....                     | 310      |
| $\alpha\alpha$ .—Células provistas de clorofila ó bacterio-purpurina..... | 311      |
| Productos húmicos.....  | 313      |
| Fermentación amoniaca.....  | 314      |
| Fermentación nitrosa y nítrica.....                                       | 315      |
| Compuestos nitrogenados minerales ó químicos.....                         | 316      |
| Desnitrificación.....   | 317      |
| Hidrógeno.....  | 318      |
| Fósforo.....  | 318      |
| Azufre.....   | 318      |
| Silicio.....  | 318      |
| Potasio, magnesio y calcio.....   | 318      |
| Hierro, zinc y manganeso.....   | 318      |
| Forma asimilable de los elementos del medio interno.....                  | 318      |
| Cantidad útil de los elementos asimilables.....                           | 320      |
| Anestésicos, venenos.....   | 321      |

## SECCION SEGUNDA

## FENÓMENOS FÍSICOS INTERNOS

## CAPITULO ÚNICO

|  |     |
|--|-----|
| Estructura molecular de las substancias orgánicas.—Teoría micelar..... | 324 |
| Absorción.....   | 328 |
| Absorción de agua y substancias disueltas.....                         | 329 |
| Absorción de gases.....  | 332 |
| Circulación intracelular.....  | 334 |

|   |     |
|---|-----|
| Fenómenos diosmóticos: Turgescencia, plasmolisis.....                         | 336 |
| Crecimiento superficial de la membrana como consecuencia de la turgencia..... | 338 |
| Imbibición.....   | 339 |
| Osmómetro turgesciente.....   | 339 |
| Células artificiales.....   | 341 |
| Fenómenos de turgencia y de imbibición.....                                   | 341 |
| Variaciones de turgescencia.....  | 343 |
| Plasmolisis.....  | 345 |
| Valor de turgencia.....   | 346 |
| Isotonia.....   | 346 |
| Efectos de la plasmolisis.....  | 348 |

## SECCION TERCERA

### FENÓMENOS QUÍMICOS

#### CAPITULO PRIMERO

|   |     |
|---|-----|
| Fenómenos químicos.....   | 349 |
| Conexión y diferencias entre las funciones asimiladoras y desasimiladoras.....          | 350 |
| Crecimiento celular originado á expensas de substancias en reserva.....                 | 352 |
| Asimilación.....  | 354 |
| Síntesis de los hidratos de carbono en las células verdes ó provistas de clorofila..... | 355 |
| A. — Condiciones de formación.....  | 355 |
| Asimilación cloroflica.....   | 355 |
| AA. — Orígenes de los hidratos de carbono.....  | 361 |
| Origen aldehídico del almidón.....  | 361 |
| Influencia del aldehído fórmico sobre la amilogénesis..                                 | 363 |
| Otras hipótesis amilogénicas.....   | 366 |
| Amilogénesis á expensas de los productos azucarados...                                  | 367 |
| Glucosas.....   | 367 |
| Sacarosas.....  | 367 |
| Manitas.....  | 367 |
| Amilogénesis á expensas de los productos alcohólicos..                                  | 368 |
| Alcohol etílico.....  | 368 |
| Alcohol metílico.....   | 369 |
| Glicoles.....   | 369 |



|  | Páginas |
|--|---------|
| Glicerina .....  | 370     |
| Amilogénesis á expensas de los productos ácidos.....                                 | 370     |
| Amilogénesis á expensas de los productos protéicos....                               | 371     |
| Origen probable de los demás hidratos de carbono y otros<br>productos ternarios..... | 373     |
| Transformaciones celulósicas.....  | 376     |
| Incrustaciones celulósicas.....  | 376     |
| Formación de los ácidos vegetales.....   | 377     |
| Formación de glucósidos.....   | 377     |
| Formación de los taninos .....   | 378     |
| Formación de las grasas.....   | 378     |
| Células desprovistas de clorofila.....   | 378     |
| $\alpha$ .—Vegetales saprofitos.....   | 380     |
| $\alpha\alpha$ .—Vegetales parásitos.....  | 381     |
| $\alpha\alpha\alpha$ .—Simbiosismo .....   | 382     |

## CAPITULO II

|   |     |
|---|-----|
| Síntesis orgánica fosforada .....             | 384 |
| Síntesis de las sustancias albuminoideas..... | 385 |
| Materiales en reserva.....                    | 390 |
| Digestión intracelular.....                   | 393 |
| Principios diastasógenos.....                 | 394 |
| Crecimiento celular.....                      | 395 |

## CAPITULO III

|  |     |
|--|-----|
| Desasimilación.....  | 398 |
| Respiración: definición y generalidades.....   | 402 |
| Cociente respiratorio.....   | 403 |
| Complejidad del fenómeno respiratorio.....   | 404 |
| Respiración normal.....  | 405 |
| Vida activa.....   | 405 |
| Vida latente.....  | 410 |
| Duración de la respiración normal en aire confinado.....                                 | 411 |
| Respiración intramolecular ó vida asfíxica.....  | 411 |
| Asfíxia de una planta provista de hidratos de carbono: fermen-<br>tación alcohólica..... | 412 |
| Empleo del oxígeno absorbido.....  | 413 |
| Origen del anhídrido carbónico desprendido.....  | 415 |
| Idea general del fenómeno respiratorio.....  | 416 |

## CAPITULO IV

|  | Páginas. |
|--|----------|
| Orígenes bioquímicos del vapor acuoso desprendido por las plantas..... | 417      |
| Transpiración.....   | 419      |
| Clorovaporización.....   | 422      |
| Sudación.....  | 424      |
| Clorosudación.....   | 426      |
| Secreciones, excreciones.....  | 428      |
| Substancias plásticas y productos eliminados.....                      | 431      |

## SECCION CUARTA

FENÓMENOS INHERENTES AL FUNCIONAMIENTO GENERAL  
DE LA CÉLULA

## CAPITULO PRIMERO

|   |     |
|---|-----|
| Restituciones de energía.....                                 | 433 |
| Emisión de calor.....   | 434 |
| Emisión de luz.....   | 436 |
| Emisión de electricidad.....                                  | 437 |
| Movimientos.....  | 437 |
| Tipos de movimiento.....                                      | 438 |
| Movimientos propiamente dichos.....                           | 438 |
| Intracelulares.....   | 438 |
| De locomoción.....  | 439 |
| $\alpha$ . —Locomoción de protoplasmas sin membrana....       | 439 |
| $\alpha\alpha$ . —Locomoción de protoplasmas con membrana.... | 440 |
| De locomoción total por contractilidad general....            | 440 |
| De locomoción total ciliar.....                               | 441 |
| Locomoción parcial.....                                       | 442 |
| Movimientos debidos al crecimiento.....                       | 445 |
| Movimientos debidos á la imbibición.....                      | 446 |

## CAPITULO II

|   |     |
|---|-----|
| Definición y concepto general sobre la irritabilidad..... | 447 |
| Propiedades particulares.....                             | 447 |
| Propiedad fundamental.....                                | 448 |

|   | Páginas. |
|---|----------|
| Propagación.....  | 449      |
| Agentes ó causas estimulantes.....                            | 449      |
| Excitantes cósmicos.....                                      | 450      |
| Pesantez.....   | 450      |
| Luz.....  | 450      |
| Calor.....  | 452      |
| Electricidad.....   | 454      |
| Excitantes físico-químicos.....                               | 456      |
| Excitantes de anterozoides, zoosporas, etc.....               | 457      |
| Excitantes de la <i>Drosera</i> .....                         | 458      |
| Acción del nitrato potásico sobre los artejos motores.....    | 458      |
| Acción de las sales potásicas sobre la <i>Spirogyra</i> ..... | 459      |
| Acción del oxígeno.....                                       | 459      |
| Acción de los anestésicos.....                                | 460      |
| Excitantes mecánicos.....                                     | 461      |
| Acción refleja en las plantas.....                            | 462      |

## PARTE TERCERA

### CITOGÉNESIS Ó NEOFORMACIÓN CELULAR

#### SECCION PRIMERA

##### SEGMENTACIÓN Ó MULTIPLICACIÓN CELULAR

##### CAPITULO PRIMERO

|   |     |
|---|-----|
| Citogénesis: definición é historia.....                                 | 463 |
| Tipos de formación celular.....   | 465 |
| Segmentación.....   | 468 |
| Concepto de la división celular.....                                    | 468 |
| α.—Células que se multiplican terminado el crecimiento.....             | 469 |
| αα.—Células que se multiplican simultáneamente al crecimiento.....      | 469 |
| ααα.—Células que se multiplican sin haber terminado el crecimiento..... | 469 |
| Modos de segmentación celular.....                                      | 471 |
| 1.—Segmentación ó división directa.....                                 | 471 |

|   |     |
|---|-----|
| División por estrangulamiento.....                    | 472 |
| División longitudinal, laminar ó de crucero.....      | 473 |
| 2.—División indirecta, mitótica ó carioquinética..... | 474 |
| Período espirema.....                                 | 476 |
| — asteroide.....                                      | 476 |
| — estrella madre.....                                 | 478 |
| — doble estrella.....                                 | 480 |
| — doble espirema.....                                 | 480 |
| Cuadro esquemático carioquinético.....                | 483 |

## CAPITULO II

|   |     |
|---|-----|
| Modificaciones mitóticas.....   | 484 |
| Mitosis simple.....   | 484 |
| Mitosis heterotípica.....   | 486 |
| Segmentación igual y desigual.....  | 490 |
| Segmentación no tabicada.....   | 491 |
| Segmentación tabicada.....  | 491 |
| Tabicación sucesiva.....  | 494 |
| Tabicación simultánea.....  | 494 |
| Influencia de los agentes exteriores sobre la formación y dirección de la membrana divisoria..... | 498 |
| Influencias activadoras.....  | 498 |
| Influencias directrices.....  | 500 |

## CAPITULO III

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| Comunicaciones protoplásmicas..... | 502 |
| Estructuras celulares.....         | 506 |
| Estructura celular asociada.....   | 507 |
| Estructura celular disociada.....  | 508 |
| Reproducción monómera.....         | 508 |

## SECCIÓN SEGUNDA

## CONJUGACIÓN

## CAPITULO PRIMERO

|   | Páginas. |
|---|----------|
| Generalidades sobre la conjugación.....                               | 517      |
| Fenómeno preparatorio. Reproducción dímera .....                      | 518      |
| Distinción entre planta é individuo.....                              | 519      |
| Anterozoogénesis y oogénesis.....                                     | 520      |
| 1.—Fecundación en las Talofitas.....                                  | 521      |
| Fecundación isogámica por gametos libres.....                         | 522      |
| Fecundación isogámica por gametos cautivos.....                       | 523      |
| Fecundación heterogámica .....  | 525      |
| $\alpha$ .—Formación del huevo por anterozoide y oosfera.             | 526      |
| $\alpha\alpha$ .—Formación del huevo por oosfera sin anterozoide..... | 530      |

## CAPITULO II

|   |     |
|---|-----|
| 2.—Fecundación en las Muscíneas.....                              | 532 |
| 3.—Fecundación en las Criptógamas vasculares.....                 | 536 |
| 4.—Fecundación en las Gimnospermas.....                           | 538 |
| 5.—Fecundación en las Angiospermas.....                           | 552 |
| $\alpha$ .—Cariogamia sexual: formación del huevo.....            | 560 |
| $\alpha\alpha$ .—Cariogamia complementaria: formación del albumen | 560 |
| Pluralidad de huevos: poliembrionía.....                          | 561 |
| Necrocitosis.....   | 562 |
| Muerte natural.....   | 563 |
| Muerte accidental.....  | 565 |

## APÉNDICE

BREVES INDICACIONES RESPECTO Á TÉCNICA HISTOLÓGICA  
VEGETAL

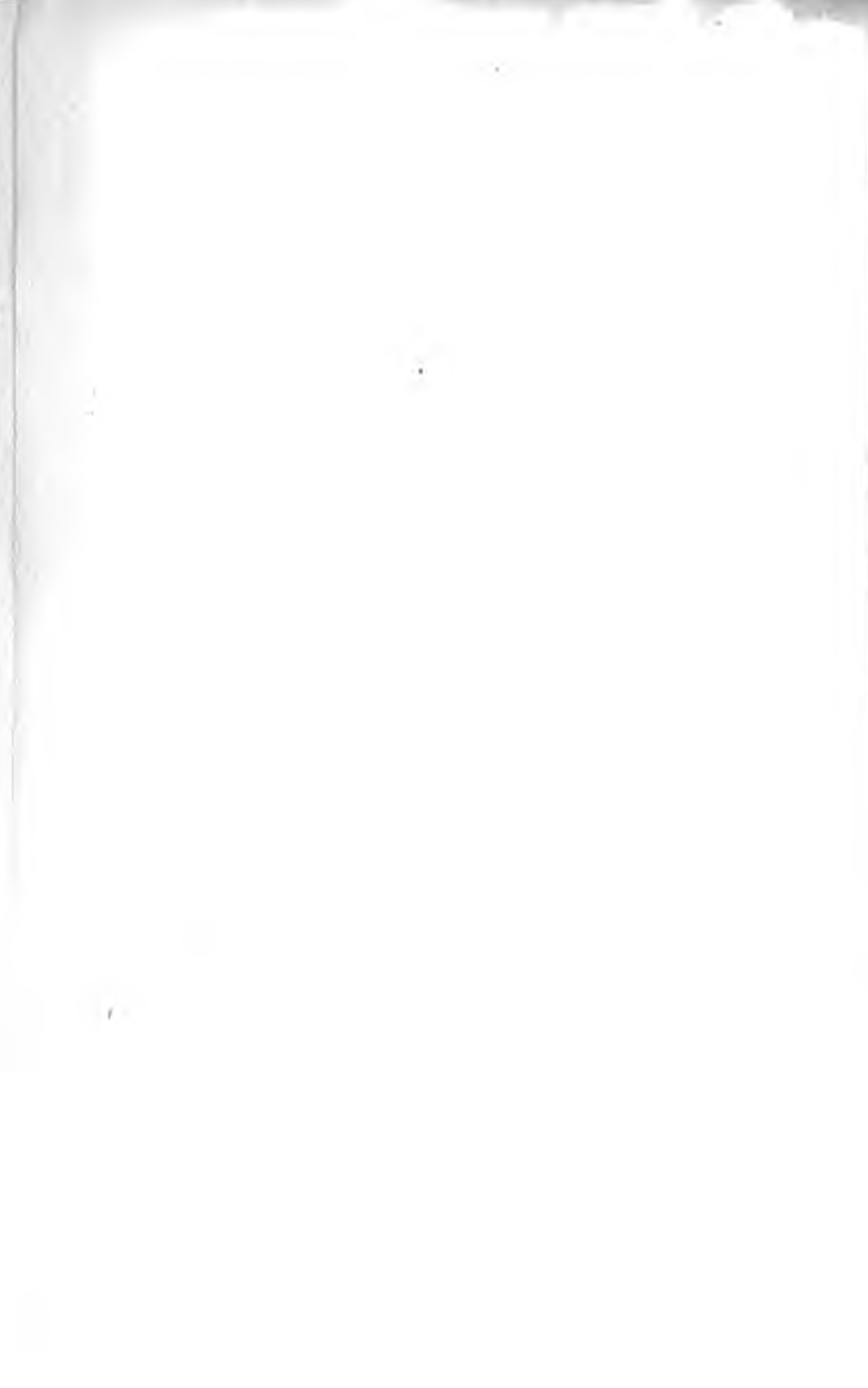
|  |     |
|--|-----|
| Fijación.....  | 573 |
| Reducción de los órganos vegetales á porciones delgadas..... | 574 |
| $\alpha$ .—Disociación.....                                  | 574 |
| $\alpha\alpha$ .—Obtención de cortes.....                    | 575 |

|  |           |
|--|-----------|
| Inclusión en goma.....   | 577       |
| — en gelatina.....   | 577       |
| — en gelatina glicerizada.....   | 577       |
| — en jabón.....  | 577       |
| — en celoidina.....  | 578       |
| — en parafina.....   | 579       |
| Contracción, cristalización, precipitación, disolución y destrucción de algunos elementos celulares..... | 582 y 583 |
| Acción de los colorantes.....  | 583       |
| Deshidratación.....  | 587       |
| Aclaramiento.....  | 587       |
| Conservación ó montaje de las preparaciones.....   | 588       |
| Seriado de cortes.....   | 589       |
| a.—Cortes á la celoidina.....  | 589       |
| aa.—Cortes á la parafina.....  | 590       |

## ERRATAS ADVERTIDAS <sup>(1)</sup>

| Página.   | Línea.           | Dice.                               | Debe decir.                                       |
|-----------|------------------|-------------------------------------|---|
| 3         | 11               | la belleza                          | el encanto  |
| 7 y otras | 15 y otras       | <i>Saccaromyces</i>                 | <i>Saccharomyces</i>                              |
| 23        | 10               | LINNÉ (apellido verdadero)          | LINNEO  |
| 41        | (expl. fig. 21)  | <i>Pterisa quinlia</i>              | <i>Pteris aquilina</i>                            |
| 63        | (expl. fig. 51)  | <i>Lavix</i>                        | <i>Larix</i>                                      |
| 83        | 31 y 33          | <i>Cerassus</i>                     | <i>Cerasus</i>                                    |
| 92        | (nota 1)         | <i>Sivedon</i>                      | <i>Siredon</i>                                    |
| 92        | (nota 1)         | percunibranquio                     | perennibranquio                                   |
| 106       | 3                | ααα                                 | αα  |
| 106       | (expl. fig. 79)  | <i>Ædogoneum</i>                    | <i>Edogonium</i>                                  |
| 107       | 28               | <i>Lbara</i>                        | <i>Cbara</i>                                      |
| 108       | 14               | } hidropasmitos, albumini-<br>feros | } hidropasmitos albuminife-<br>ros                |
| 108       | 16               |                                     |   |
| 112       | (expl. fig. 87)  | <i>Zíguema</i>                      | <i>Zignema</i>                                    |
| 201       | 8, 12 y 24       | <i>Diospora caucasica</i>           | <i>Dispora Caucasica</i>                          |
| 221       | 24               | <i>Strychnos, Nux vomica</i>        | <i>Strychnos Nux vomica</i>                       |
| 234       | 5                | <i>Tropeolum</i>                    | <i>Tropæolum</i>                                  |
| 316       | 25               | nitrate de sosa                     | } nitrate de sosa (principal-<br>mente de potasa) |
| 445       | 10               | <i>Centaurea Jacca</i>              |   |
| 448       | (nota 1)         | <i>Fisiologia general</i>           | <i>Fisiologia generale</i>                        |
| 492       | (expl. fig. 261) | <i>Peziqa bellucida</i>             | <i>Peziqa convexula</i>                           |
| 492       | (expl. fig. 261) | parasitos                           | parasisos   |
| 508       | 21 y 23          | <b>monomera</b>                     | <b>monómera</b>                                   |
| 510       | (expl. fig. 280) | <i>Balliota</i>                     | <i>Psalliota</i>                                  |
| 510       | (expl. fig. 281) | <i>Cortieum</i>                     | <i>Corticium</i>                                  |

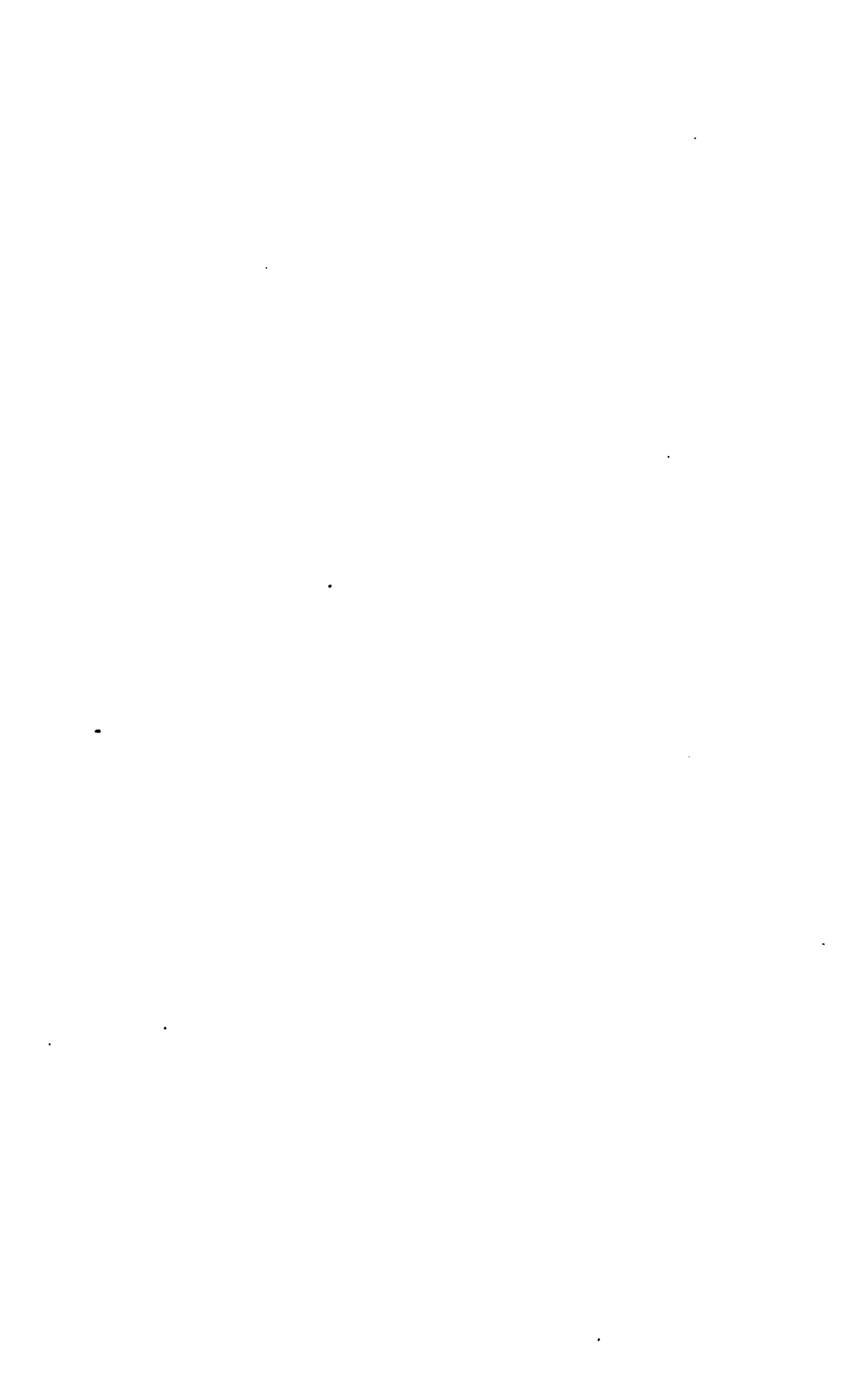
(1) Algunas se han deslizado que subsanará el buen juicio del lector.

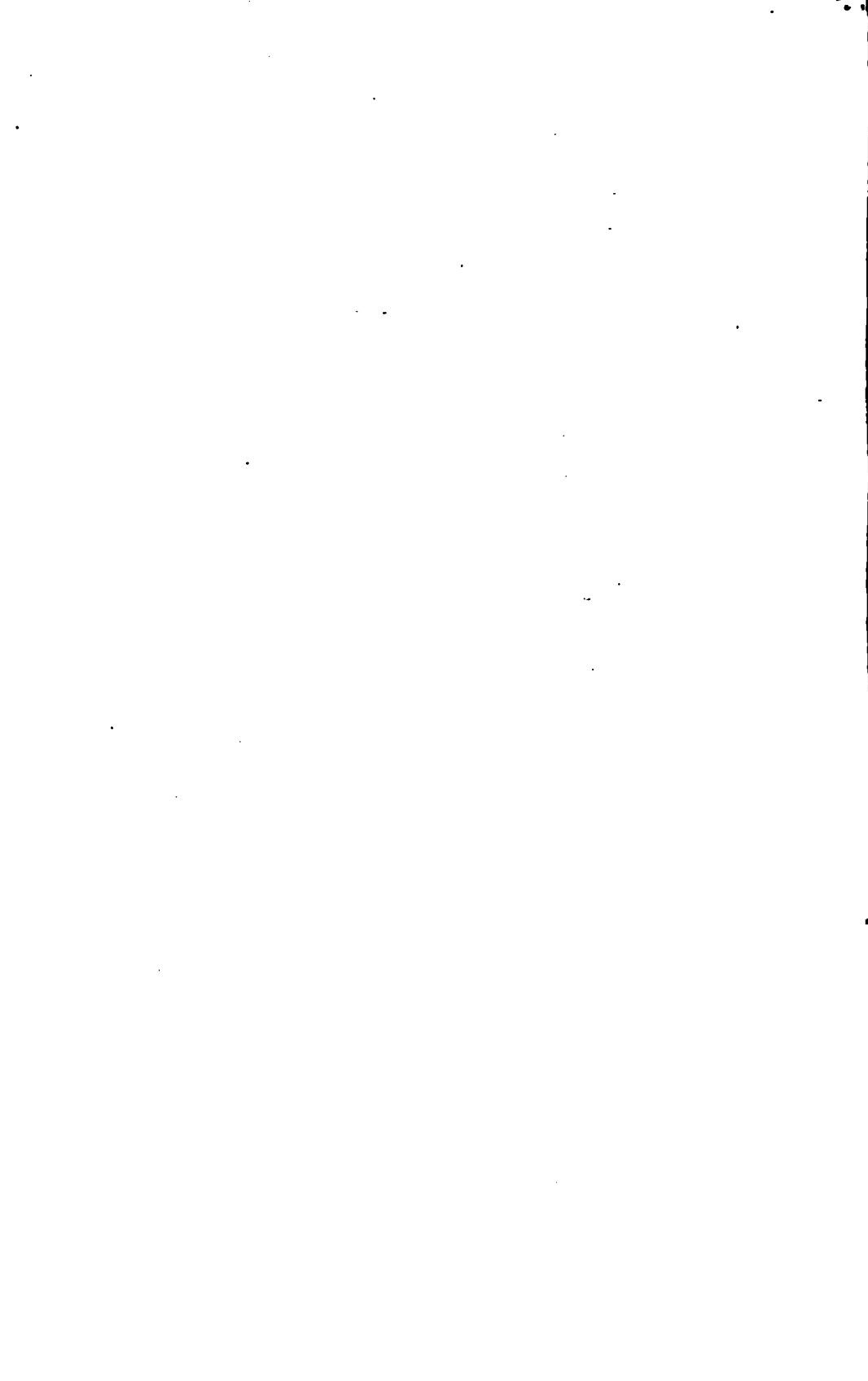












U.C. BERKELEY LIBRARIES



C039730082

QK725

338818

G7

BIOLOGY  
LIBRARY  
G

*Gredilla*

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

