

COLECCION LABOR

INTRODUCCION
AL ESTUDIO DE LA
BOTÁNICA
LA PLANTA

Prof. ADOLFO HANSEN



SEGUNDA EDICIÓN

EDITORIAL LABOR, S. A.

Como una viva proyección de las civilizaciones del pasado y de las obras más selectas y características de la época presente, los Manuales de orientación altamente educadora que forman la

COLECCIÓN LABOR

pretenden divulgar con la máxima amplitud el conocimiento de los tesoros naturales, el fruto del trabajo de los sabios y los grandes ideales de los pueblos, dedicando un estudio sobrio, pero completo, a cada tema, e integrando con ellos una acabada descripción de la cultura actual.

Con claridad y sencillez, pero, al mismo tiempo, con absoluto rigor científico, procuran estos volúmenes el instrumento cultural necesario para satisfacer el natural afán de saber, propio del hombre, sistematizando las ideas dispersas para que, de este modo, produzcan los apetecidos frutos.

Los autores de estos manuales se han seleccionado entre las más prestigiosas figuras de la Ciencia, en el mundo actual; el reducido volumen de tales estudios asegura la gran amplitud de su difusión, siendo cada manual un verdadero maestro que en cualquier momento puede ofrecer una lección breve, agradable y provechosa: el conjunto de dichos volúmenes constituye una completísima

Biblioteca de iniciación cultural

cuyos manuales, igualmente útiles para el estudiante y el especialista, son de un valor inestimable para la generalidad del público, que podrá adquirir en ellos ideas precisas de todas las ciencias y artes.

COLECCIÓN LABOR

BIBLIOTECA DE INICIACIÓN CULTURAL

La Naturaleza de todos los países. La Cultura de todos los pueblos. La Ciencia de todas las épocas

PLAN GENERAL

SECCIÓN I
Ciencias filosóficas

SECCIÓN II
Educación

SECCIÓN III
Ciencias literarias

SECCIÓN IV
Artes plásticas

SECCIÓN V
Música

SECCIÓN VI
Ciencias históricas

SECCIÓN VII
Geografía

SECCIÓN VIII
Ciencias jurídicas

SECCIÓN IX
Política

SECCIÓN X
Economía

SECCIÓN XI
**Ciencias exactas,
físicas y químicas**

SECCIÓN XII
Ciencias naturales

SECCIÓN XII : CIENCIAS NATURALES

VOLÚMENES PUBLICADOS

- Geología, I y II** (dos volúmenes dobles), por el Prof. F. FRECH, traducción de C. DE SALAS, V. INGLADA y J. CARANDELL. Con 238 grabados, 22 láminas en negro y color, 3 planos en color y 5 gráficos. (2.^a edición).
- Introducción al estudio de la Botánica (La planta)**, por el Profesor A. HANSEN, trad. del Dr. J. MAYNAR. Con 33 grabados y 4 láminas.
- Zoología: I, Invertebrados** (volumen doble), por el Prof. L. BÖHMIG. Con 171 grabados y 12 láminas. **II, Insectos**, por el profesor J. GROSS, traducción del Prof. E. FERNÁNDEZ GALIANO, Catedrático de la Universidad de Barcelona. Con 56 grabados y 8 láminas.
- Antropología**, por el Prof. E. FRIZZI, trad. del Prof. T. DE ARANZADI, Catedrático de la Universidad de Barcelona. Con 43 figs. y 6 láminas. (2.^a ed.)
- Mineralogía**, por R. BRAUNS, traducción de M. SAN MIGUEL DE LA CÁMARA, Catedrático de la Universidad de Barcelona. Con 132 grabados, 12 láminas en negro y 2 en color.
- Los animales prehistóricos**, por el Prof. O. ABEL, traducción del Profesor E. FERNÁNDEZ GALIANO, Catedrático de la Universidad de Barcelona. Con 56 grabados y 12 láminas.
- Petrografía**, por el Prof. W. BRUHNS, traducción del Prof. M. SAN MIGUEL DE LA CÁMARA, Catedrático de la Universidad de Barcelona. Con 28 grabados, 5 láminas en negro y 2 en color.
- Los animales parásitos**, por el Prof. E. F. GALIANO, Catedrático de la Universidad de Barcelona. Con 108 figs., 6 láminas en negro y 4 en color.
- La vida en las aguas dulces**, por el Prof. CELSO ARÉVALO, Catedrático del Instituto del Cardenal Cisneros. Con 85 figuras y 4 láminas en color.
- Introducción al estudio de la Zoología**, por F. GARCÍA DEL CID Y DE ARIAS, Prof. de la Universidad de Barcelona. Con 72 figuras y 8 láminas.
- Los animales marinos**, por ENRIQUE RIOJA, del Museo de Ciencias Naturales. Con 69 grabados, 16 láminas en negro y una en color.
- Citología y Anatomía de las plantas**, por el Dr. H. MIEHE, traducción del Prof. J. MAYNAR, de la Universidad de Madrid. Con 79 figuras.
- Geobotánica** (volumen doble), original de D. E. H. DEL VILLAR, Secretario general y Técnico de la Comisión de Edafología y Geobotánica, de Madrid. Con 7 figuras, 61 láminas en negro y 2 en color.
- Los fundamentos de la Biología** (volumen doble), por el Profesor E. FERNÁNDEZ GALIANO, Catedrático de la Universidad de Barcelona. Con 188 grabados.
- Oceanografía física**, por el Prof. G. SCHOTT, traducción de José SAGRISTÁ CASANOVAS. Con 82 grabados, 17 láminas y 3 mapas en color.

VOLÚMENES EN PREPARACIÓN

- Geología, III** (volumen doble), por el Prof. F. FRECH, traducción del Profesor JUAN CARANDELL, Catedrático del Instituto de Córdoba. Con 120 grabados y 12 láminas en negro y color.
- El clima y la vida**, por W. R. ECKHARDT, traducción de M. SAN MIGUEL DE LA CÁMARA, Catedrático de la Universidad de Barcelona.
- Paleogeografía. — Fisiología de la planta.**
- Los vertebrados terrestres.**

INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO
DE LA BOTÁNICA

LA PLANTA

COLECCIÓN LABOR

SECCIÓN XII

CIENCIAS NATURALES

N.º 2

BIBLIOTECA DE INICIACIÓN CULTURAL

Alph

Ap III 123

ADOLFO HANSEN

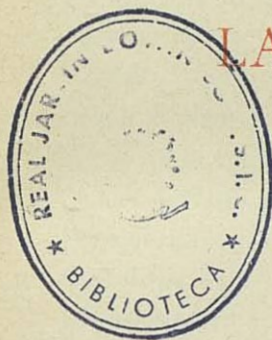
58
HAN

INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO
DE LA
BOTÁNICA

LA PLANTA

Traducción del alemán por

J. MAYNAR
Licenciado en Ciencias



29 OCT. 1987



EDITORIAL LABOR, S. A. : BARCELONA - BUENOS AIRES

Pº. 8.983

Con 33 figuras en el texto y 4 láminas

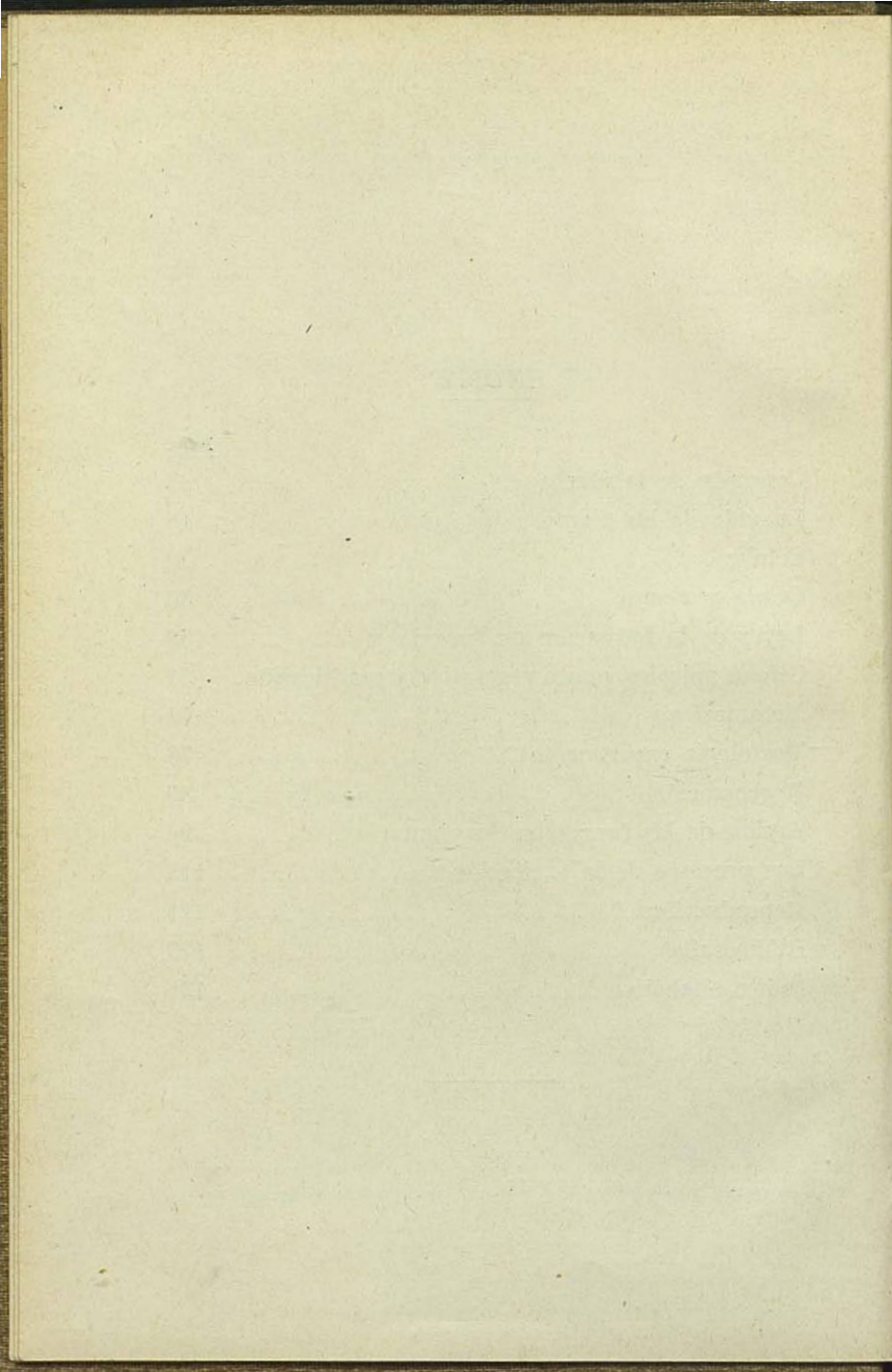
ES PROPIEDAD

Primera edición : 1925

Segunda edición : 1930

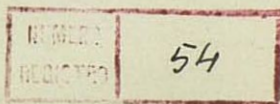
ÍNDICE

	<u>Págs.</u>
Concepto de la planta.	7
La vida de las plantas.	16
Células.	20
Célula y planta.	30
Leyes de la formación de los tejidos.	38
Células apicales, punto vegetativo y ramificación.	51
Metamorfosis.	74
Morfología experimental.	78
Regeneración.	89
Acción de las fuerzas en la planta.	99
Los procesos de la excitación.	115
Reproducción.	121
Bibliografía.	129
Índice alfabético.	131



Concepto de la planta

Es un hecho de los más sorprendentes que, si bien se tiene una idea general de la planta, resulta extraordinariamente difícil, o por mejor decir imposible, precisar qué es lo que conocemos con dicho nombre. Esto estriba en que la vida vegetal no se ha desarrollado en la superficie del Globo de un modo único, sino que, en el transcurso de la historia de la Tierra, lo ha hecho en innumerables formas. La vida vegetal al principio se presentó, sin duda, en forma sencilla, como todavía muestran hoy las bacterias y algas inferiores; pero, con el tiempo, se ha desarrollado en tantas maneras, que tenemos ya ante nuestra vista cientos de miles de formas diversas. De aquí se deduce la imposibilidad de dar con una definición de planta o de encontrar el *prototipo* de las plantas, como todavía pretendió Goethe, ni tampoco la representación del *tipo* de la planta en general. Sólo puede afirmarse que la *vida* es una propiedad común a todas las plantas pero no así la *forma*; a lo sumo, se puede dar un tipo o forma fundamental de grupos más o menos amplios. Así, por ejemplo, se pueden diferenciar bien las plantas superiores de las inferiores o podemos trazar un esquema



aplicable a las plantas con flores o fanerógamas, pero nunca lograremos que abarque todas las plantas. Esta es la causa de que no se pueda llegar al conocimiento del mundo vegetal por simples razonamientos lógicos, sino que, para conseguirlo, es preciso estudiar todas las diversas formas de plantas o el mayor número posible de ellas. Por este medio, la Biología ha conseguido establecer, cuando menos, toda una serie de conceptos generales que ofrecen en conjunto una idea amplia en la que se comprenden formas variadísimas.

Ahora bien, ¿qué es una planta? Hubo una época, en el tiempo del apogeo del racionalismo, cuando el concepto era lo principal y su definición el umbral del conocimiento, en que se creía poder responder sin escrúpulos a esta pregunta. Entonces, se intentó definir la planta por simple oposición al animal. Linneo suponía, con Aristóteles, que la planta tiene vida, pero sugestionado por las mencionadas ideas, creyó encontrar la diferencia decisiva que la separa de los animales en que aquélla carece de la sensibilidad y de movimientos voluntarios, cualidades que son precisamente las que caracterizan al animal. En aquel tiempo parecía, en efecto, que estas cualidades, las más aparentes de ambos grupos de seres, bastaba para diferenciarlos, pero actualmente es imposible sostener ese criterio. Ciertamente que, hoy por hoy, no sabemos, aunque es poco probable, si las plantas *sienten* el mundo exterior, pero no obstante la observación ha demostrado que son *sensibles* a determinadas influencias externas llamadas *excitantes* (luz, peso, humedad, electricidad, etc.), a cuyo estímulo res-

ponden en primer lugar con movimientos de sus órganos. Las plantas presentan además otros movimientos que parecen completamente independientes de los excitantes externos (movimientos autónomos), pero ni aun para éstos es admisible una voluntad. Así resulta cierta la antigua apreciación de Linneo, al negar a las plantas los movimientos voluntarios; pero se equivocó al creer que todos los movimientos de los vegetales se reducen a los pasivos originados por el viento y otras acciones mecánicas. Se conocían excepciones inexplicables, por ejemplo, el movimiento de las hojas de la planta insectívora *Dionaea muscipula* (Migula, Pflanzenbiologie), pero esto se tenía entonces como cosa anormal o como meras curiosidades. Hoy, por el contrario, se admite que la movilidad activa de los órganos de las plantas es una *propiedad general* de todo el reino vegetal, desde los grados inferiores hasta las plantas de organización más complicada.

Por esto, una definición de la planta estrictamente negativa, sacada de la comparación con los animales, ha perdido todo su valor científico; tanto más cuanto que Linneo comparaba las plantas, sólo con los animales superiores de sangre caliente, limitándose a la consideración de los órganos externos que llaman inmediatamente la atención de un observador ingenuo de la Naturaleza. Mucho más justificada hubiera sido una comparación de la estructura interna de ambas series de organismos, plantas y animales; pero esto era entonces casi imposible y además fué desdeñado por Linneo, que no conocía el manejo del microscopio, lo mismo

que por sus partidarios, que lo calificaban de injustificada curiosidad.

El progreso de las ciencias, después de la muerte de Linneo, ha servido para demostrar cada vez más, de una manera patente, que la planta no es cosa sencilla que se pueda abarcar en un concepto, sino que presenta tantas facetas al conocimiento que, solamente después de un examen de todas las propiedades importantes, puede llegarse a tener una idea. Este estudio todavía no está, ni con mucho, terminado y esto hace que estemos lejos de poder formular una definición de la planta.

Esto constituye una circunstancia desfavorable para podernos ocupar científicamente de ella. Por lo menos, para poder asociar la palabra "planta" con una idea determinada, aun cuando fuese algo imprecisa, convendría establecer para ella, siquiera provisionalmente algo general. Esto puede hacerse fácilmente con una sola frase: *la planta es un ser vivo*.

Ahora, al emprender el estudio de la planta con este concepto, lo desarrollaremos suponiendo que podremos ir entrando poco a poco en sus pormenores y sobre todo llegar a interpretar fielmente sus formas. El no haber sentado como base de la Botánica este punto de vista, a pesar de que ya lo había reconocido Aristóteles, fué causa de que la antigua botánica linneana propagase un concepto muy incompleto y parcial de la planta. En aquella época la planta era solamente un objeto clasificable cuyas propiedades vitales no merecían una observación cuidadosa, porque eran indiferentes para

los fines de la clasificación. Por esto no se comprendía tampoco la importancia de la forma. Se estudiaban principalmente plantas de herbario, las cuales, por regla general, no eran completas, puesto que las plantas de gran tamaño estaban representadas, como es de suponer, por partes de ellas y aun las plantas pequeñas estaban mutiladas, pues no se acostumbraba a coleccionar sus raíces y órganos subterráneos por suponerlos desprovistos de valor taxonómico.

Ya Aristóteles había manifestado que la planta, puesto que también es un ser vivo, no representa ningún ser antagónico del animal, y esto que para el investigador heleno era ciertamente una simple pero justísima apreciación, ha sido confirmado con hechos por la ciencia actual. Ésta nos enseña que la planta vive porque su cuerpo está formado por materia viva: el protoplasma; y admite la concordancia de animal y planta por la circunstancia de que, a pesar de todas las divergencias de forma, tienen un factor común de constitución anatómica que es *la célula*. Fundamentos son éstos de que ni la Antigüedad ni la botánica linneana tuvieron ni siquiera un presentimiento.

En primer lugar la vida es una propiedad común a todas las plantas. Lo contrario ocurre con las formas, y en esto hay encerrado un gran enigma. ¿Por qué la vida no aparece en una forma única sino en millones de formas animales y vegetales, a pesar de que sus funciones son limitadas y esencialmente idénticas? Grande es la diferencia entre una lenteja de agua de nuestros pantanos y una palmera de los trópicos. Con

todo, las dos tienen sus mismas elementales misiones de vida, alimentarse y reproducirse, y esto lo realizan con medios muy parecidos. Otro tanto podemos comprobar en muchos miles de formas vegetales, con lo cual se afianza nuestra creencia de que la vida es general y en cambio no lo es su forma. Una planta puede estar formada por una célula única o por un número incontable de ellas; en muchos casos poseerá hojas y en otros no; producirá flores o vegetará sin ellas; de la misma manera podrá ser verde como la mayoría de las plantas o carecerá de color o tendrá una coloración distinta, como ocurre con las setas de nuestros bosques o las magníficas algas rojas del mar. En una palabra: si quisiéramos designar la planta por las propiedades que apreciamos con nuestros sentidos, nos veríamos ante el difícil problema de precisar cuál es, entre las infinitas formas de plantas, la que debemos señalar como tipo con esta denominación. Para comprenderlo mejor basta echar una ojeada al conjunto del reino vegetal.

Sólo con microscopios provistos de potentes objetivos, de unos 500 diámetros, pueden verse las *bacterias*, que son los organismos más pequeños; y, para apreciar más y poder descubrir algo de su estructura, se necesitan de 1000 a 1200 diámetros. De una pequeñez semejante y tan difíciles de ver son las *esquizofíceas* o *cianofíceas*; pero, mientras éstas llaman la atención con su color verde de cardenillo, las bacterias son completamente incoloras. Además muestran una gran variedad de formas. Comparemos ahora estas modestas formas vege-

tales con un helecho, con sus frondas verdes y pinnadas, o con un eucalipto de Australia, con sus 100 o más metros de altura, y quedaremos asombrados de tal variedad de desarrollo, formas y tamaños. Sin embargo, no obligan a ninguna diferencia esencial; aquellos organismos inferiores son tan "plantas" como estos más complicados. En realidad, la inclusión en un mismo concepto de seres tan distintos sólo ha podido fundarse en un estudio minucioso que ha permitido descubrir sus semejanzas ocultas. Este ha sido el proceso histórico por el que se ha llegado a un concepto general de la planta. El razonamiento simple no habría calificado de plantas, sin más ni más, a ciertos organismos inferiores, porque el concepto vulgar de la planta estaba basado en la observación de las más completas, dotadas de tallos, raíces, hojas y flores.

Si queremos definir ahora la planta, tenemos que decir: la planta es un ser vivo pero de las formas más variadas. Ciertamente que podemos añadir que estas formas no se pueden producir artificialmente y que no son constantes sino que presentan *alteraciones*, en ocasiones anormales (patológicas), que se aprecian especialmente por variaciones de forma y tamaño (crecimiento) o de propagación de los individuos (reproducción); dos procesos que nunca, a pesar de todas las aparentes semejanzas externas, se producen en las cosas artificiales de la misma manera que en los seres vivos. Aun cuando verbalmente se designan con el mismo nombre algunos procesos naturales que se realizan en seres inanimados, por ejemplo, cuando se habla del creci-

miento de los cristales, dichos procesos son muy distintos de los designados con el mismo nombre en los seres vivos, puesto que en estos últimos es condición previa de crecimiento, no sólo un aumento, sino un *cambio de materia*, es decir, un recambio de materiales con el medio y una variadísima transformación de los incorporados. Así, mientras un cristal crece por simple depósito de sustancias idénticas a las que lo forman, la planta lo hace a consecuencia del proceso de la *nutrición*, que no existe en las sustancias naturales sin vida.

El crecimiento y la reproducción son cualidades tan generalmente reconocidas en las plantas que su empleo para caracterizarlas como seres vivos es evidente. Se podría objetar, sin embargo, que los seres vivos son propiamente los animales, y se nos podría preguntar por qué razón colocamos las plantas junto a ellos. Parece ir demasiado lejos, en este aspecto, la colocación de ambos grupos de seres en un mismo plano; tal vez se llegaría a reconocer a las plantas una modalidad especial de vida, algo así como un "vida vegetal", pero no otra cosa.

Como es bien sabido, esta opinión existía ya en tiempos de Aristóteles y a ella se inclinaba la botánica clásica. De la comparación falsa que establecían Aristóteles y Linneo entre la raíz de las plantas y la boca de los animales, las hojas y los pulmones, el leño y los huesos, los órganos florales y los sexuales de los mamíferos, se desprendía más bien la semejanza de los dos grupos de seres, no obstante cierto paralelismo de órganos que no puede, en realidad, reputarse como semejanza.

Aristóteles admitía también un *alma*, es decir, una causa de la vida de la planta, pero diferente de la de los animales. "El alma vegetativa" o "vida vegetativa" desempeña todavía un papel en ambientes científicos un poco retrasados.

Por lo contrario, actualmente, cuando afirmamos que la planta es un ser vivo, queremos hacer hincapié precisamente en que, a pesar de las diferencias profundas de su aspecto externo, tiene una vida enteramente comparable a la de los animales. Poseemos además, en apoyo de esta afirmación, una razón concluyente que no era conocida en la Antigüedad ni en el siglo XVIII, y es que la planta está constituida por una masa viviente de idéntica composición química, estructura física y manifestaciones que la que forma el organismo animal: *el protoplasma*.



La vida de las plantas

No sabemos qué es lo que hace viviente esta materia; únicamente sabemos con seguridad que ella sola es la base, el soporte de los fenómenos vitales. Antes se conformaban con admitir como causa de todas las manifestaciones de vida la "fuerza vital", pero hoy ya no existe razón alguna para mantener tal explicación que no es tal, sino en realidad un autoengaño. Tenemos un hecho sacado de la observación y es que siempre está la vida ligada a la presencia del protoplasma y que desaparece cuando éste se destruye. Esta substancia que se halla en todos los órganos vivos y es la causa de su actividad, recibió por primera vez el nombre de *protoplasma* en 1846; denominación debida a H. von Mohl, que se dedicaba al estudio de la célula vegetal; y desde esta fecha en adelante ha sido reconocida cada vez más como la portadora de la vida. Fernando Cohn fué el primero en llegar a la conclusión de que el *sarcoda* o *sarcoplasma* animal era en el fondo una cosa idéntica al *protoplasma* de la célula vegetal y por esto la Zoología admitió también la misma denominación.

Así se estableció una noción fundamental biológica resultante de la afinidad de los reinos vegetal y animal,

que desterraba la aparente oposición que con barreras infranqueables había establecido la antigua Biología entre planta y animal; con ello se preparó el terreno para las doctrinas de la descendencia que entonces todavía no empezaban a vislumbrarse. Lo que acabamos de decir hace que, antes de ocuparnos de estudios biológicos, procuremos exponer algunas nociones acerca del protoplasma y sus propiedades. La tarea no es tan sencilla como parece. El protoplasma no es algo así como la sangre, un líquido que circula en el cuerpo de la planta, que se puede separar de ella. El protoplasma está encerrado en la planta en espacios de tamaño microscópico llamados células, de las cuales no se puede aislar sencillamente para investigar sus propiedades. Por excepción, los mixomicetos, que pertenecen al tipo de plantas más rudimentarias, están formados en una fase de su desarrollo por una masa de protoplasma libre. Bien es verdad que en estos seres el protoplasma está de tal manera alterado con otras sustancias, sobre todo materias colorantes, que no nos da una impresión típica. Con todo, muchos mixomicetos forman esporas que, colocadas en una gota de agua, se abren dejando en libertad un pedacito de plasma incoloro de idéntico aspecto que una amiba, que como estos protozoos, cambia constantemente de posición reptando lentamente. Una idea más acabada del aspecto general del protoplasma nos la dará la reunión de varias de estas mixamibas cuando se funden en una masa mayor (fig. 1).

Estas masas plasmáticas aparecen como una sustancia viscosa, que no se mezcla con el agua circundante,

y con reflejos débilmente azulados que permiten apreciar hasta sus contornos más finos. Mientras el borde se muestra transparente, el interior tiene por lo común un aspecto finamente granulado o espumoso. Al microscopio no es posible confundirlas con gotitas de otra clase, sobre todo, por hallarse siempre en el protoplasma un cuerpecillo esférico: el *núcleo*. Llama particularmente la atención en tales amibas su lento movimiento de reptación, así como también las corrientes que se

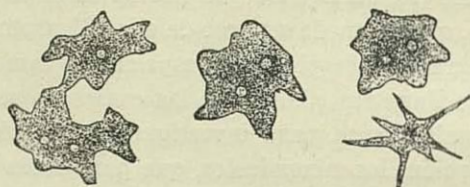


FIG. 1. Protoplasma con movimientos amiboideos

ven claramente en el interior de su masa. De esta manera, aparece ya como algo viviente el protoplasma de estos cuerpos sencillísimos.

Cuando se tropieza con una materia de composición desconocida, es la Química la disciplina indicada para suministrar datos acerca de su naturaleza. El protoplasma flúido no está formado por sustancias desconocidas, sino por varios albuminoides, agua, calcio, potasio y algunas sales. Ciertamente que las sustancias sólidas no están sencillamente disueltas en el agua sino que manifiestan una unión molecular más complicada distinta de la solución; esto se deduce ya del hecho de sernos imposible diluir el protoplasma como se puede hacer

con una disolución verdadera. Con todo, no es fácil determinar exactamente este estado de agregación del protoplasma. Como las partes sólidas orgánicas del protoplasma, los albuminoides, son coloides, el protoplasma tiene también propiedades coloidales para cuya explicación integral no bastan los fenómenos estudiados en los coloides. Además de los principales componentes, ya citados, del protoplasma, pueden también entrar eventualmente en su constitución otros compuestos orgánicos, hidratos de carbono, grasas y todas las sustancias que en el mismo protoplasma se forman con el cambio de materias o procesos de metabolismo.

Células

En la inmensa mayoría de las plantas, el protoplasma está, como ya se ha dicho, encerrado en cámaras aisladas unas de otras y cuya separación es debida a una membrana fina y elástica de *celulosa*.

Estas cámaras se llaman *células*, nombre adoptado por los descubridores de estos espacios microscópicos (Hooke, Grew y Malpigio) que procede de su comparación con las celdas de los panales de las abejas. Sin embargo, casi todos ellos creían que las células estaban vacías, pues no tenían todavía ninguna noción del protoplasma. Haciendo preparaciones de partes jugosas de una planta, ya en crecimiento, ya en reposo, tallos, raíces, bulbos, pétalos, etc., puede verse fácilmente cómo tales células están unidas unas con otras; estas reuniones de células se llaman tejidos celulares o simplemente *tejidos*.

Cada porción de protoplasma se encuentra como cuerpo aislado en el interior de su membrana junto a la cual forma en primer lugar un saco que tapiza por dentro las paredes y contiene las otras partes del protoplasma, que atraviesan la cavidad en forma de cor-

dones o bandas. En todas las plantas superiores hay en el protoplasma un cuerpo redondeado y blando llamado *núcleo* celular, en cuyo interior se ve todavía un cuerpecito (a veces dos) como un punto que llamamos *nucléolo*. El espacio que en el interior del saco protoplásmico dejan los cordones, está lleno de una solución

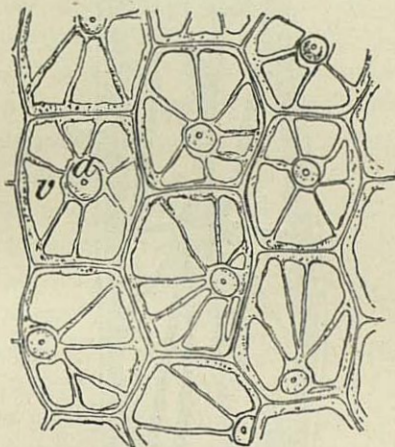


FIG. 2. Tejido de un tallo. Las células presentan un protoplasma con un núcleo *a* y vacuolas *v*

acuosa que recibe el nombre de *jugo celular*. Al principio, no hay jugo y el protoplasma llena completamente el espacio de las células recién formadas. Después, cuando la célula empieza a crecer, se produce el jugo celular en forma de gotas y de esta manera se forman espacios sin plasma (vacuolas). Figura 2.

Siguiendo el crecimiento de la célula, aumentan estas vacuolas de tamaño y separan el protoplasma blando, pudiendo llegar hasta fusionarse todas ellas en un gran

espacio o vacuola central. Pero, a menudo, quedan muchos de los finos cordones plasmáticos que atraviesan la vacuola y dan lugar a una figura de célula muy característica. El núcleo, rodeado de una cubierta del-

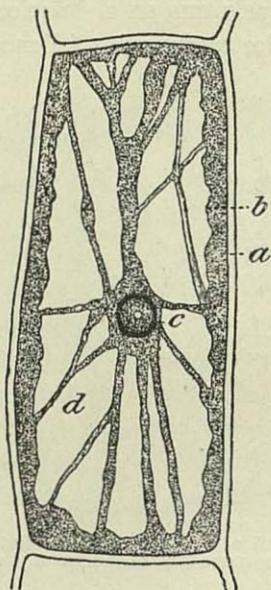


FIG. 3. Una célula aislada del pelo de la calabaza. *a*, pared o membrana celular; *b*, protoplasma periférico que tapiza la membrana; *c*, núcleo unido por cordones plasmáticos al protoplasma periférico; *d*, vacuolas llenas de jugo celular

gada de protoplasma, aparece suspendido por una red de hebras protoplasmáticas que se continúan con el citoplasma periférico (fig. 3).

El contorno de este protoplasma celular parece al pronto otra cosa que el de una amiba móvil y despro-

vista de membrana, pero aquí se reconoce también la estructura granujienta del cuerpo plasmático o como se denomina brevemente, *protoplasto*.

Puede apreciarse claramente la unidad, enteramente análoga a la de las amibas, de todas las partes del protoplasto celular, a pesar de su estructura reticular, colocando la célula en una disolución salina diluida, por ejemplo, de salitre al 3 %.

Entonces se apelotona todo el protoplasto en una masa o se desgarran y forma varias esferitas que permiten ver claramente la semejanza con la substancia de una amiba. Pero aun el protoplasto reticulado de una célula intacta se conduce enteramente como una amiba. Como ésta, muestra variaciones de forma de su contorno y corrientes en su substancia granular, y dentro de su cubierta o membrana el protoplasto se desliza lentamente en todas direcciones y al mismo tiempo pueden observarse numerosas corrientes muy manifiestas en el protoplasma periférico o en los cordones.

Estas corrientes permiten reconocer que el protoplasma está formado por dos partes que pueden distinguirse ópticamente; una, la masa fundamental, que es transparente como el agua, y otra, que son unos granitos muy refringentes. En el borde del protoplasma, donde éste confina con la membrana o con las vacuolas, no se ven granulaciones; hay que admitir que el protoplasto, con todas sus prolongaciones, está cubierto por una capa muy fina (membrana plasmática). Esta capita parece poseer una estructura particular que permite hasta cierto punto aislar el protoplasma de las influencias

exteriores, por ejemplo, contra la entrada de disoluciones o por el contrario, oponiéndose a la salida de sustancias disueltas de la célula.

Colocando la célula en una solución coloreada de salitre, y examinándola al microscopio, puede verse con qué facilidad penetra dicha solución en la membrana celular; pero la membrana plasmática impide que llegue al interior del protoplasto. Este último queda incoloro y lo único que sucede es que la disolución salina lo va empujando por delante de sí hasta separarlo completamente de la membrana celular, dejándolo en el centro todo arrugado, fenómeno que se designa con el nombre de *plasmolisis*. Hasta en la substancia plasmática transparente de que hemos hablado se sospecha la existencia de una estructura más fina, pero, aun con los mayores aumentos, no se puede ver gran cosa de ella. En vista de que ningún líquido (en su acepción corriente) tiene las propiedades vitales del protoplasto, Schmitz, Bütschli y otros investigadores han creído necesario suponer al protoplasma una estructura vacuolar o fibrilar en vez de suponerlo un líquido uniforme. Pero, aun cuando se hubiera comprobado mejor de lo que lo ha sido la existencia de una estructura vacuolar o fibrilar, esto todavía no nos explicaría las acciones vitales del protoplasma.

Por el contrario, el núcleo presenta estructuras claramente visibles, particularmente en sus procesos de división; estructuras que podemos hacer más perceptibles con los métodos de coloración que se utilizan en técnica microscópica los cuales nos permiten apreciar

una trama particular de filamentos. Pero como se puede matar el protoplasma sin alterar su estructura, de ahí que las estructuras visibles no puedan explicar por sí solas las propiedades vitales. Precisamente en los protoplasmas que mueren por la acción de los reactivos químicos es donde a menudo resaltan más estructuras visibles. Frecuentemente no puede distinguirse visualmente un protoplasma vivo de uno muerto, y, sin embargo, en el primero se realizan los maravillosos fenómenos del desarrollo que no se presentan en el segundo. El movimiento circulatorio del protoplasma vivo ha despertado siempre gran interés y aun se ha creído que esta corriente no era un fenómeno natural, sino provocado por la circunstancia de tener que separar en determinados casos las células en que se observa para hacer la preparación microscópica; pero esta opinión debe rechazarse en absoluto, pues precisamente puede estudiarse con más facilidad en algunos tejidos que no exigen en absoluto ser preparados; por ejemplo en las células internodales de *Nitella*, en los pelos radicales de *Trianea bogotensis*, etc.

Casi es más asombroso el movimiento en los casos en que el protoplasma abandona completamente su membrana celular y se mueve en todos sentidos con libertad absoluta como pudiera hacerlo un infusorio. Esto ocurre en numerosas algas, plantas acuáticas que, para los fines de la reproducción, dejan escapar protoplastos, a los que se da el nombre de *zoosporas*, que van moviéndose en el agua durante un cierto tiempo,

La formación de una *zoospora* empieza sencillamente por un apelmotamiento de todo el contenido verde de la célula en una masa oval, con lo cual queda separado de la membrana, como ocurre en el alga filamentosa *Oedogonium* de nuestras aguas dulces (fig. 4).

Entonces se produce una grieta en la membrana por la que se abre la célula y de ella escapa un cuerpecillo

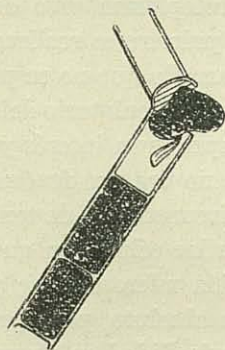


FIG. 4. Salida de una zoospora de la célula de *Oedogonium*

verde que lleva en su extremo anterior, incoloro, una corona de finas *pestañas vibrátiles* o *cilios*. La formación de zoosporas que hemos visto y los procesos análogos que originan protoplastos libres en las plantas inferiores nos indican claramente que la parte viviente de la célula es el protoplasto, puesto que abandona su cubierta; pero, antes de germinar, para producir una nueva planta, la reemplaza por otra que él mismo segrega.

Si no se quiere admitir una enigmática fuerza vital como causa de estos notables fenómenos, entonces, para

no quedar en un empirismo falto de ideas y poder adelantar en nuestros conocimientos, hay que preguntarse qué fuerzas cabe suponer como actuantes en la célula.

Después de haber admitido la posibilidad de procesos osmóticos en la célula, se ha afirmado posteriormente esta opinión cada vez con mayor intensidad al ver que la célula con sus capas concéntricas, formadas por la membrana y líquidos, representa un sistema osmótico.

Los experimentos de Traube con células artificiales, hicieron resaltar cierta semejanza entre las células vivas y las membranas semipermeables obtenidas por precipitaciones. Pfeffer consiguió probar que las condiciones de presión osmótica, tales como se presentan en las células, solamente se pueden explicar por estar provistos los protoplastos de una película semipermeable. La membrana celular no es esta capa semipermeable sino que, como tal, sólo podemos considerar la película de plasma sin granulaciones que envuelve el protoplasto: membrana plasmática o citoplásmica.

Después de fijar experimentalmente Pfeffer las leyes de la presión osmótica, en células artificiales, con un método del que más tarde nació la teoría de las disoluciones de van t'Hoff, dió de Vries un procedimiento para determinar, incluso en células vivas, la presión osmótica, deduciéndola de la concentración de la disolución que producía su plasmolisis. Así, hoy día estamos ya perfectamente al corriente de las condiciones osmóticas de la célula. Por la presión osmótica se explica la forma de la célula y en consecuencia la de los órganos.

Célula y órganos pierden su forma al anularse la presión, ya sea por pérdida de agua ya por oponer obstáculos a su entrada. Las propiedades de las membranas semipermeables nos dan la clave de la permanencia de sustancias en la célula, puesto que esas membranas sólo permiten el paso al agua pero no a los cuerpos sólidos. En cambio no pueden explicar las propiedades osmóticas de la célula todos los fenómenos del intercambio de sustancias; y si queremos aclarar el problema de la entrada de las sustancias nutritivas necesarias, en el interior de la célula, y su paso a través de los tejidos, hay que añadir todavía como complemento diversas hipótesis auxiliares acerca de la naturaleza de la membrana plasmática. Es interesante el hecho de que, con la muerte, cambien inmediatamente las propiedades de la membrana plasmática; pues mientras que ésta, en vida, regula la entrada y salida de sustancias disueltas, al morir la célula pierde esta propiedad. Por ejemplo: tratando por el cloroformo o elevando hasta 60° la temperatura de la célula, deja escapar sin dificultad sustancias que antes retenía enérgicamente.

Lo que llevamos dicho da la base de las conexiones de las formas vegetales, pero a pesar de esto sigue siendo imposible poder obtener, por esta simple conexión de las formas, un tipo único o idea de la planta.

Esto no ha de asombrarnos puesto que la planta, en su historia, ha cambiado constantemente de forma, ya que no fué creada como tipo inalterable, sino que se ha ido desarrollando. Por tanto, la planta ha sido diferente

en cada época y de muchas de estas formas temporales se ha conservado descendencia hasta nuestros días, lo que es causa de que hoy aparezcan ante nuestra vista, simultáneamente, las formas más diversas. Con todo, siempre se pueden distinguir entre todos estos modelos varios tipos que la sistemática llama *series evolutivas*. Todos estos tipos, tan diversos exteriormente, tienen de común el poderse descomponer en los mismos elementos: las células.

El que se compongan de células no es, sin embargo, exclusivo de las plantas; también los animales son un conjunto de células que, como antes hemos manifestado, están constituídas por un protoplasma semejante. Con todo, la célula vegetal adquiere su carácter particular por el hecho de revestirse normalmente de una capa de *celulosa*, substancia que rara vez se halla en el reino animal. La célula vegetal se caracteriza precisamente por estar revestida de esta membrana celulósica que con facilidad adopta formas y modificaciones debidas a las condiciones especiales de su crecimiento y formación de relieves. Los tejidos vegetales adquieren, como consecuencia, un sello tan característico, que en general pueden distinguirse inmediatamente de los tejidos animales.

Célula y planta

La célula aparece, según las descripciones precedentes, como un pequeño organismo independiente, por lo cual a veces se le da el nombre de *organismo elemental*.

En muchísimos casos puede una tal célula adaptarse al medio ambiente y aparecer como un ser autónomo. Así ocurre, por ejemplo, con las bacterias y también con las algas unicelulares, cuyas células además del protoplasma contienen una materia colorante verde: *la clorofila*. A estas células también se les puede llamar plantas porque, en efecto, no sólo son seres capaces de vida, como cualquier célula de las que constituyen un tejido, sino que son independientes, con actividad vital, con ciertas particularidades de forma, de reproducción, etc. Veamos ahora cómo consigue la célula llegar, en ciertas circunstancias, al grado más avanzado en el desarrollo de las propiedades específicas. Las algas unicelulares que forman un revestimiento verde sobre la corteza de los árboles, tienen forma esférica y son las plantas más sencillas, mientras que células aisladas pertenecientes a otras familias de algas, por ejemplo *Desmidiáceas* o *Diatomáceas*, pueden aparecer ya en formas muy llamativas.

En las *Desmidiáceas* cada célula presenta una placa pequeña con simetría bilateral, estrangulada en el centro y a menudo con formaciones marginales muy delicadas; otras veces tienen forma semilunar, etc. En las *Sifonáceas*, algas en su mayoría marinas, vemos cómo las células aisladas toman el magnífico aspecto que ca-

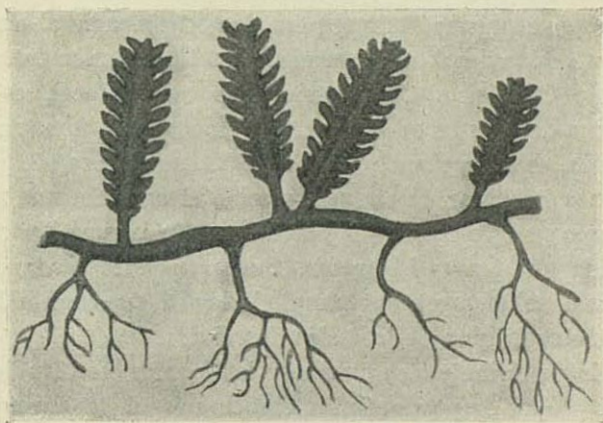


FIG. 5. *Caulerpa crassifolia* (Indias occidentales)

raeteriza a una planta superior provista de hojas erguidas que nacen sobre un tallo horizontal o rizoma. Pues bien: nos equivocaríamos por completo si creyéramos que dicha planta, tal como la representa la figura 5, estaba provista de todos los órganos que en apariencia posee; pues las raíces y hojas sólo son prolongaciones en diversos sentidos de una especie de saco con una cavidad continua; es decir, son prolongaciones de una gran célula única.

Es lo que nos pasa a la vista de una figura de metal repujado que al exterior presenta articulados todos los elementos anatómicos, pero que, vista por dentro, no ofrece más que una sola cavidad. Naturalmente en la *Caulerpa*, que así se llama la planta que aparece en la figura, no está vacío este espacio sino que, como todas las células, contiene protoplasma y gran número de núcleos, y al mismo tiempo, para dar consistencia al conjunto, la cavidad está cruzada por un particular entramado celulósico. Ciertamente que, en general, esta forma de plantas en las que todo se reduce a una gran célula, es excepcional; y las *sifonáceas* sólo nos las podemos imaginar en un medio como el agua en que no corren peligro de perder por desecación la posición erigida que toman al brotar. Fuera de estos casos, en todo el reino vegetal se cumple la ley de que cada individuo se origina de la *unión de células*.

En un principio se producen las formas constituídas por grupos de pocas células, siguen a éstas otras mayores y terminan la serie imponentes estructuras celulares, como los gigantes *Eucalyptus* y *Sequoias*, constituídos por millones de millones de células.

En los tramos inferiores del reino vegetal encontramos el objeto de la unión celular, la cual empieza de una manera muy notable, como es la asociación de células, primitivamente aisladas, formando un conjunto, que es la planta. Sirve como ejemplo la delicada alga denominada *Pediastrum* que vive adherida a otras plantas acuáticas en estanques y charcas.

Estas plantas están constituídas por una bonita placa microscópica formada por ocho, dieciséis o más células, de las cuales, las marginales se prolongan en unos apéndices filiformes incoloros. Esta forma se debe a la reunión de células que antes eran completamente libres. Sigamos ahora la marcha del proceso de esta plaquita cuya interesantísima reproducción fué observada primeramente por Alejandro Braun en 1850. Para repro-

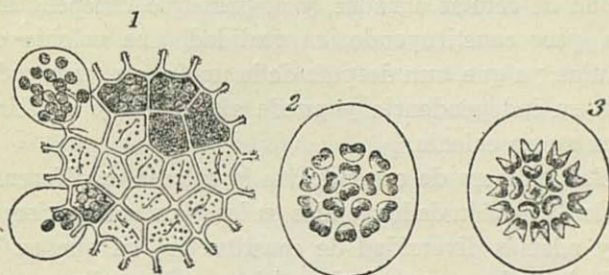


FIG. 6. Formación de una colonia de *Pediatrum granulatum*. 1, salida de las nuevas colonias: las células punteadas están ya vacías; 2 y 3, colonias jóvenes en libertad, en distintos estados de desarrollo.

ducirse estas minúsculas algas, cada una de sus células forma una nueva placa de la manera siguiente: el contenido de cada célula empieza a dividirse; cada una de estas divisiones se redondea y forma un cierto número de esporos esféricos, los que, rodeados de una cubierta común, salen al exterior por una grieta de la membrana celular (fig. 6). Esta familia de células recién nacidas, que se mueven activamente dentro de la cubierta común, va errante por el agua. Transcurrido un cuarto de hora, se orientan, encerradas siempre en la cu-

bierta, formando un disco pero sin unirse sólidamente unas a otras todavía. En las células que han quedado en el borde se observa ya una ligera escotadura. Después de unas cuatro horas, empieza la formación de los cuernecitos en las células externas; sin embargo, hasta pasados dos días no se unen íntimamente todas las células, quedando así terminada la placa.

Así, pues, la nueva plantita se ha formado por la unión de células aisladas, y al principio independientes, pero constituyendo, en realidad, una colonia de células, ya que, aun después de la unión, conserva cada una su independencia y puede aisladamente originar otra nueva colonia.

Esta manera de engendrarse la colonia es diferente de la formación de los tejidos en las plantas superiores; hay además diversidad de constitución, ya que en la colonia no hay puentes plasmáticos o plasmodios entre las células unidas, mientras que los verdaderos tejidos tienen todas las células ligadas de esta manera. En casos muy limitados puede ocurrir excepcionalmente la formación de tejidos por unión de células primitivamente libres, por ejemplo, en la formación del endospermo en el saco embrionario; bien que, más tarde, este tejido siga creciendo por división celular normal.

De tales algas formadoras de colonias, como la que hemos citado anteriormente, existe toda una serie, entre otros los géneros *Pandorina*, *Volvox* y *Gonium* que se caracterizan por sus delicadísimas formas y por sus movimientos en el agua producidos por finas pestañas. También forman colonias las algas azules (*Cianofíceas*).

Las *Oscilarias* viven unidas formando una fina capa sobre la tierra húmeda y las células cortas y cilíndricas de que constan están ligadas en serie formando hebras celulares, bajo una cubierta mucilaginosa, con las células extremas semiesféricas; esta manera de ordenarse produce la impresión de una plantita filiforme.

En el género afín *Nostoc*, la colonia moniliforme, o sea en forma de sarta de perlas, está rodeada de una considerable masa arrugada de mucílago. Los *Nostoc* se encuentran sobre rocas húmedas, a veces en gran cantidad, como una gelatina, en trocitos redondeados o arrugados de un color que oscila entre el verde sucio y el negro. Al microscopio, se ven finos rosarios de perlas ligadas aquí y allí al mucílago; y, entre estas células redondeadas, hay otras mayores y de otra forma llamadas *heterocistos*.

Las colonias en que hay gran número de individuos adoptan siempre formas bien delimitadas, de tal manera que su asociación se asemeja a una planta autónoma. Por tanto, las colonias son algo distinto de un simple hacinamiento casual como ocurre con frecuencia con ciertos organismos unicelulares.

Así, por ejemplo, las *Diatomeas*, plantas unicelulares de maravillosa forma, se encuentran a veces flotando en los mares en tan grandes cantidades, que su conjunto hace aparecer la superficie como cubierta de un polvo amarillo. Otras algas rojas o verdes unicelulares, reproduciéndose con gran rapidez, invaden la superficie de charcas y estanques formando un manto de algas impropiaamente llamado en algunas regiones

flores de agua, de la que también a veces se dice que está florecida. En estos casos no se trata de colonias sino de sencillos amontonamientos de células independientes.

La estructura celular se realiza de un modo característico en los hongos, así como en los líquenes, muy afines a ellos. Forman algo así como un entrelazamiento de células sin llegar a constituir una colonia.

Al principio son unas largas series de células en hebras finas de origen diferente que presentan siempre su crecimiento enteramente independiente; pero luego se fusionan y forman cordones, láminas y masas de trabazón más íntima, las que por fin dan al hongo la forma característica de su especie. De esta manera, el pie y el sombrerillo de un hongo están constituídos solamente por esas hebras o *hifas* que, adaptándose al contorno propio de la especie y soldándose aquí y allí, forman una especie de tejido o fieltro; y lo mismo les ocurre a muchas algas marinas del grupo de las *florídeas* o algas rojas. Otro ejemplo muy particular tenemos en las *Caráceas*.

Tan sencillo como es el principio mecánico que preside esta constitución — que es el mismo que encontramos en productos artificiales como el papel o el cartón en que un entrelazado de fibras delgadas y flexibles da origen a un conjunto resistente y de forma determinada — en los hongos o en las florídeas es enigmática, sin embargo, la realización de esta forma final característica. Si se nos preguntase qué es lo que condiciona u obliga a las hifas a crecer de tal manera que consti-

tuyan un conjunto de esta o aquella forma precisamente, como si obedeciese su crecimiento a un plan de construcción, y cuál es la causa de que hifas procedentes de esporas de diversos hongos constituyan estructuras celulares completamente distintas a pesar de la semejanza de tales hifas, no sabríamos dar una contestación satisfactoria. Sólo sabemos que las hifas de un nízalo sólo producirán nízalos; y las producidas por una espora de otra especie, sólo esa especie y no un nízalo. Tenemos aquí un problema cuya solución preocupa a la Ciencia; para esta solución, no parece que pueda esperarse mucho de las teorías vitalistas.

Leyes de la formación de los tejidos

Ni la facultad de proliferar la célula aislada, ni la reunión en colonias, ni la fusión de hifas son medios suficientes para producir formas vegetales de consistencia y tamaño considerables.

Para esto sólo sirven los tejidos, los cuales consisten en células que se multiplican interponiendo entre sí paredes, pero quedando en unión muy íntima, que persiste al crecer y experimentar sus células modificaciones por estratos.

Solamente por este procedimiento, modificándose en variadísimas formas tejidos completos, es posible una distribución correlativa de los distintos fines y trabajos de una planta. Mientras en la célula aislada tienen que reunirse en tan reducido espacio todas las actividades fisiológicas, la formación de tejidos permite adjudicar el acopio de alimentos, conducción de sustancias, reproducción, etc., a tejidos especialmente dotados para estos fines. También en esta formación de tejidos aparecen las plantas con rasgos característicos e inconfundibles con los del cuerpo animal.

La diferencia entre tejido y lo que hemos descrito como colonias, caracterizadas por ser asociaciones laxas

de células, estriba en que, al reproducirse las células de un tejido, no se separan del mismo.

Las células de un tejido se multiplican por un proceso muy sencillo en apariencia. Surge un tabique de separación en el centro de una célula, quedando así di-

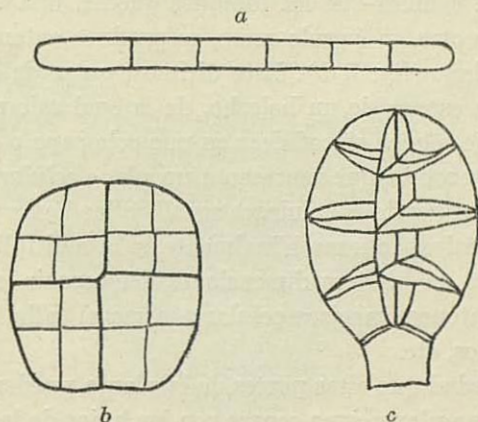


FIG. 7. Esquema de la formación de un filamento celular (a), de una lámina celular (b), y de una masa de células (c), por multiplicación de las células en una, dos o tres direcciones, respectivamente

vidida la cavidad en dos células hifas aproximadamente iguales; al mismo tiempo, el protoplasma y el núcleo experimentan una partición y sus dos porciones se reparten uniformemente en las nuevas células. Este proceso se realiza simultáneamente en muchas células que, habiendo quedado reducidas de tamaño, crecen hasta recobrar el que les corresponde y de esta manera aumenta de volumen la parte de la planta a que pertenece este tejido. (Véase fig. 7, a y b.)

Esta división celular es un medio de producirse varias formas. Si la división tiene lugar siempre de la misma manera, de modo que los nuevos tabiques queden todos paralelos, se produce un *filamento celular*. Si el crecimiento del tejido es en dos direcciones del espacio de manera que los tabiques queden una vez paralelos y otra en ángulo recto, se produce entonces un tejido plano (fig. 7, b). Este último caso se da al germinar la espora de un helecho, de la cual sale una laminita de células clorofílicas en una sola capa o estrato llamada protalo, que representa un *plano celular*. También son superficies celulares sencillas las hojas de muchas hepáticas foliosas. Finalmente, si la multiplicación se realiza en las tres dimensiones del espacio, se producen entonces macizos celulares como el tallo, raíces, tubérculos, etc.

Es verdad que estas partes de la planta pueden tener una forma plana como ocurre con las hojas de las plantas superiores, pero haciendo un corte nos podemos persuadir de que son macizos, porque constan de varias capas de células superpuestas, cosa muy distinta de un simple estrato celular (véase fig. 8).

Tanto en el aspecto de una superficie celular como en la sección de un cuerpo se ve que las paredes de células contiguas están geométricamente dispuestas. Esta disposición se denomina red celular, que en las partes de la planta más distintas puede ofrecer igualmente los más diferentes aspectos y tamaños de células, pero siempre ostentando una maravillosa concordancia geométrica a la cual es preciso dedicar alguna atención.

Se ve que las redes celulares de los tejidos más diversos presentan cierta semejanza; es muy conveniente explicar por qué. La analogía de redes celulares distintas consiste en que, por regla general, las paredes celulares nuevas se unen a las preexistentes en ángulo recto. En el esquema del filamento celular (fig. 7, *a*)

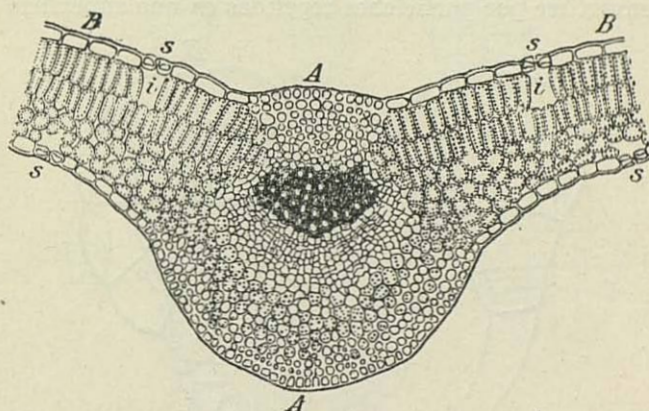


FIG. 8. Corte de una hoja de lila (cuerpo celular constituido por diversas formas de tejidos). *A*), nerviación media de la hoja; *B*), limbo de la misma, portador de clorofila; *s*), estomas; *i*), cámara estomática interna

se ve esto claramente y permite comprender por qué la asociación celular es más consistente con esta disposición de los tabiques en ángulo recto que en otra con la cual soportarían muy mal las presiones exteriores. La ley de la formación de los tabiques se cumple hasta en los tejidos más complicados. Resalta este hecho especialmente cuando los tejidos están limitados por superficies celulares curvas. Y, puesto que los órganos vegetales rara vez están limitados por superficies pla-

nas, podremos dar fácilmente con un ejemplo. En tales casos las paredes divisorias sólo pueden ser perpendiculares a las paredes del contorno cuando tomen igualmente una forma curva, que es lo que hacen en efecto, según nos mostrarán algunas figuras.

Supongamos que una célula grande y oval tiene que convertirse por particiones repetidas en una superficie

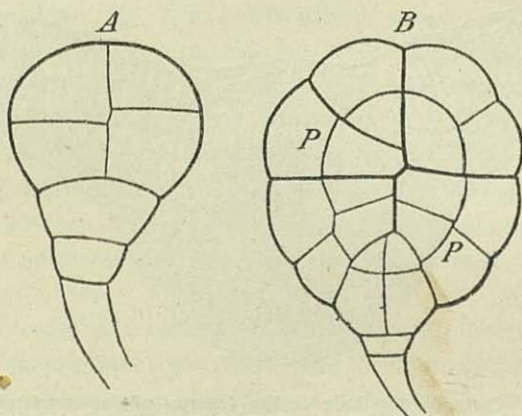


FIG. 9. A), un embrión muy joven de *Orobanche*. B), el mismo, más avanzado en su desarrollo (según SACHS)

celular; entonces, sólo las primeras paredes pueden ser simultáneamente perpendiculares entre sí y al contorno sin sufrir curvatura (fig. 9, A). Si tienen que aparecer ahora en las cuatro células originadas por esta división paredes nuevas, deberán ser curvas para que satisfagan la condición de cortar a las otras en ángulo recto (fig. 9, B en P). En efecto; diversos órganos vegetales proporcionan figuras semejantes. La figura 9, A, representa un embrión joven de *Orobanche*, la

figura 10 muestra el desarrollo de un propágulo de *Marchantia*. Por tanto, vemos comprobada la ley de la formación normal de las membranas celulares en órganos vegetales completamente diferentes.

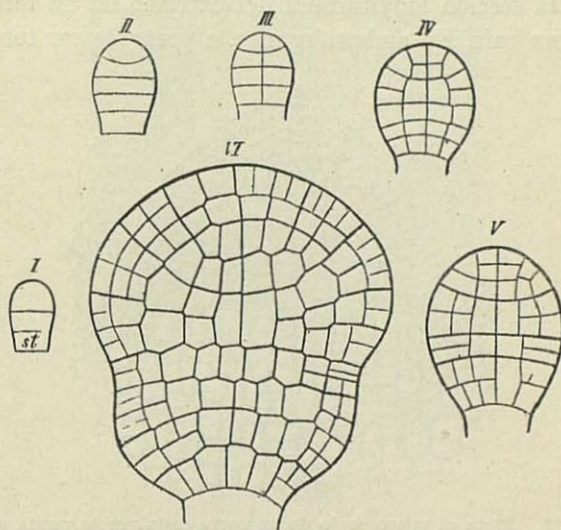


FIG. 10. Desarrollo de un propágulo de *Marchantia* en el mismo orden de la numeración. Las paredes celulares se cortan según curvas (SACHS)

Hasta en los cuerpecitos vegetales pequeños como los aquí dibujados puede observarse en las redes el sistema de líneas característico que limita las células o series de células.

Se ve con toda evidencia que las células, por el proceso de división, se preparan ya para una disposición ordenada y su colocación quedará terminada por corrimientos ulteriores debidos al crecimiento. Esta colo-

cación ordenada llama también la atención en cortes de órganos más gruesos, por ejemplo, en los extremos del tallo o de la raíz y en las secciones transversales de tallos tiernos y lignificados. Como ejemplo, presentamos la sección longitudinal del extremo de un tallo y de una raíz. En ambos órganos, a pesar de ser tan di-

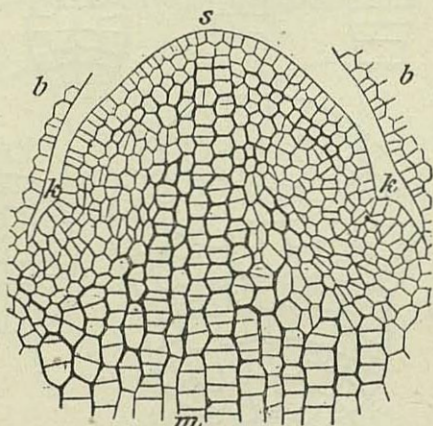


FIG. 11. Vista al microscopio de un corte dado por la punta de un tallo (punto vegetativo), de una plántula de judía. *s*), extremo apical. *m*), tejido interno del tallo. *b*), parte de las primeras hojas. *k*), rudimentos de las ramas en la axila de las hojas (SACHS)

ferentes, se cortan todas las paredes celulares en ángulo recto, lo cual puede expresarse también diciendo que las células están dispuestas en capas concéntricas o, mejor dicho, empleando expresiones geométricas, en líneas homofocales. (Véanse las figuras 11 y 12.)

Si se construyen sistemas de curvas ortogonales según los métodos geométricos, se ve su extraordinaria analogía con las redes celulares, a pesar de no tratarse

ciertamente de nada vivo. Para conseguir representárnoslo exactamente, es de importancia no olvidar que un tejido no es un amontonamiento desordenado de células, sino una asociación íntima de ellas, cuyo origen y

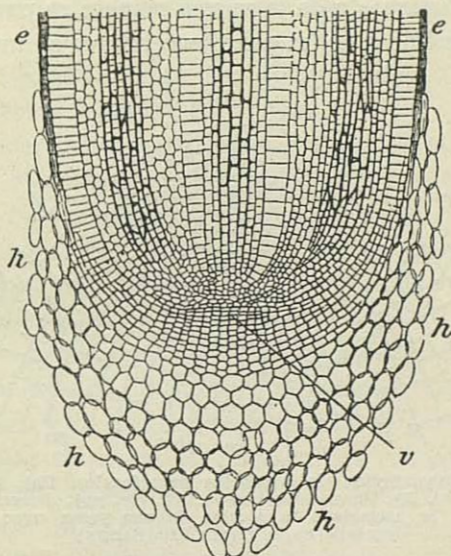


FIG. 12. Sección longitudinal de la raíz (punto vegetativo), de una plántula de maíz. *e*), epidermis de la raíz. *v*), extremo del punto vegetativo. *h*), cofia. (SACHS)

perpetuación están supeditados a determinadas leyes. Cada célula depende de las demás hasta en el espacio de que puede disponer.

Presentan una gran semejanza el esquema de la figura 13 que es una simple construcción de curvas ortogonales y el de la figura 22 que representa la red celular del punto vegetativo de una yema, o el de la

figura 14, con el de la red celular de la punta de la raíz de la figura 12.

Las líneas que siguen la dirección del contorno de la figura, se denominan *periclinas*, y las normales a éstas, *anticlinas*; y de la misma manera se pueden designar las líneas de las paredes celulares en un órgano

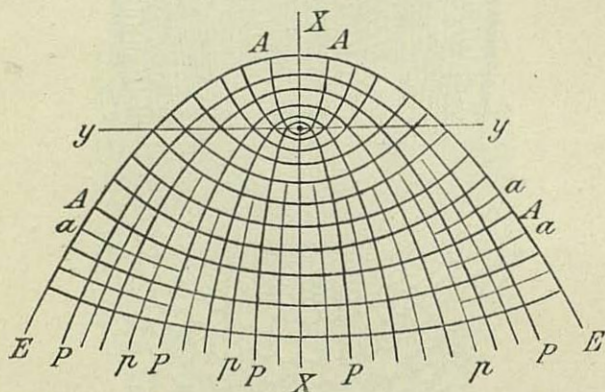


FIG. 13. Construcción de parábolas homofocales. Pp), periclinas. A), anticlinas. E), línea del contorno. X), eje. yy), dirección de los parámetros. Se asemeja a la sección de una yema como la representada en la figura 22. (SACHS)

vegetal. El trazado de las periclinas indica la distribución del crecimiento en el órgano correspondiente (compárense las figuras 13 y 22). Pero, a pesar de ser un hecho tan manifiesto la formación de tejidos por división celular, no se pueden explicar las formas de la planta por medio de la división y propagación celular.

Considerando el caso de las sifonáceas se saca la consecuencia de que la división celular *no es causa general* de formación, ya que aquí el cuerpo de estas algas pue-

de adoptar varias formas a expensas de una sola célula-tubo.

Por división celular se aumenta solamente la masa del cuerpo y, por consiguiente, la cantidad de materiales necesarios para la formación. Si la planta no pudiera hacer otra cosa que formar tejidos por división celular, sólo existiría un reconocido número de formas, geométricas y sencillas, de plantas.

Por esto deben agregársele *fuerzas formadoras* o *energías plasmanes* como suele decirse con cierta vaguedad. No conocemos estas fuerzas o las conocemos muy imprecisamente, aun cuando nos son conocidos sus efectos a los que llamamos *crecimiento* o *desarrollo*.

Para que aparezcan formas vegetales se han de llevar a cabo crecimientos de las células y tejidos, puesto que con el nombre de crecimiento designamos los *cambios de volumen* y de *figura*. Por divisiones celulares se puede cambiar en efecto el volumen del cuerpo de una planta, pero ellas no son causa de la aparición de nuevas formas. Si añadimos células a un cuerpo esférico no obtendremos más que una esfera mayor. Las hebras de la *Spirogyra*, que producen sin cesar células, las que a su vez se desarrollan, siempre son sencillos filamentos celulares. Si se ha de cambiar el aspecto de una forma han de presentarse crecimientos *desiguales* en sus diversas partes.

Si hiciéramos crecer una célula esférica uniformemente por todo su contorno, conservaría su forma; pero, si por el contrario, sólo crece por una *zona central* alargándose grandemente se formará un cilindro

redondeado por ambos extremos. Cuando, por el contrario, es una *zona polar* de la esfera la que crece, se formará entonces un tubo, como puede verse al germinar una espora. Vamos a demostrar con un esquema que en los cuerpos celulares la forma se produce, no

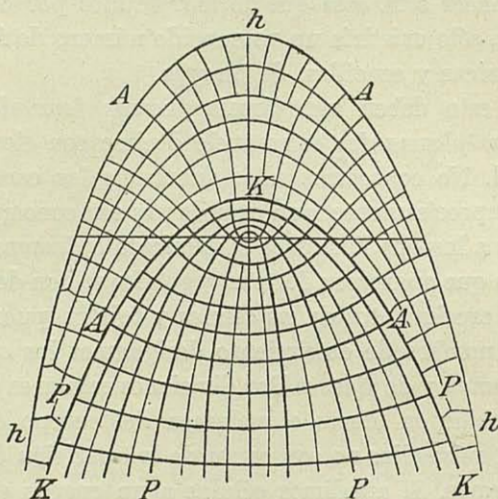


FIG. 14. Sistema de parábolas que se cortan. Figura idéntica a la red celular de una raíz con su cofia. *P*), periclinas. *A*), anticlinas. *KK*), línea interna, y *hh*), línea externa del contorno. (SACHS)

por división, sino por crecimiento. En la figura 15 está representado esquemáticamente a la izquierda un filamento celular dividido por tabiques transversales *TT* y una alineación de longitudinales. A la derecha está representada la misma hebra convertida en placa elíptica.

Una de las primeras paredes transversales *T* ha quedado en línea recta *RR*, así como la alineación de tabi-

como hay sobre la Tierra, puesto que los tejidos no pueden crecer indefinidamente. El desarrollo de las formas vegetales sería entonces limitado. Cuando crecen las células, lo hacen solamente durante cierto tiempo y luego se estacionan al llegar a su completo desarrollo o estado adulto, y lo mismo ocurre con los tejidos que pasan a permanentes cuando han alcanzado el estado adulto (*tejidos definitivos*), y con ello se termina su plasticidad. Ciertamente que por crecimiento se podrían acabar poco a poco los órganos, pero su renovación, que es un fenómeno tan característico de las plantas y que constituye lo que llamamos desarrollo, estaría descartado.

Ahora bien: es cosa sabida que precisamente en las plantas no existe tal límite de conformación sino que, por el contrario, la mayoría de ellas forman materiales a merced de los cuales construyen de nuevo con fuerza inagotable en su cuerpo, aun en condiciones desfavorables. Es preciso, por tanto, que existan ocultos en la planta otros medios de configuración además del crecimiento. Estos medios hacen que la planta pueda salvar, al agotarse la facultad de su crecimiento, unas porciones de tejidos que se denominan tejidos formadores o *meristemos*. Fuera de las plantas inferiores, todas las demás están constituidas por partes viejas perfectamente acabadas y otras capaces de un desarrollo ulterior, colocadas en determinados sitios de la planta. Tales plantas no llegan jamás a su límite de desarrollo, el cual empieza periódicamente, por regla general, en la periferia, con un crecimiento y modelado nuevos, como nos lo demuestra cada árbol en primavera.

Células apicales, punto vegetativo y ramificación

Debemos considerar con más detenimiento estas partes siempre jóvenes de la planta, ya que sirven precisamente para caracterizarla.

Observemos primeramente la *Halopteris filicina*, delicada alga parda del azul Mediterráneo. Esta planta ostenta una constitución esbelta con sus finas ramitas que arrancan divergentes de un vástago central y le dan su porte característico, muy regular.

En la punta del eje principal existe una voluminosa célula terminal que se designa con el nombre de *célula apical*. De ésta se separan células lenticulares gracias a unas caras curvas que aparecen en ella. Al desarrollarse las células lenticulares forman las ramas.

Cada una de las ramas laterales tiene una célula apical propia que se conduce como la del eje, mientras que en la base de la rama va siendo menor el crecimiento, formándose así un edificio geométrico y grácil como se ve ya en plantas superiores tales como una conífera.

La aparición de estos sistemas cuya analogía en las plantas hemos hecho resaltar, es un hecho muy general y se denomina ramificación. A ella se debe el porte característico de las plantas, que contrasta singularmen-

te con el de los animales, de tal manera que allí donde aparece en el reino animal por excepción un ser ramificado (animales inferiores) lo tomamos a primera vista por una planta o señalamos la semejanza con nombres tales como "briozoario", "fitozoo", etc. Ramificarse es, en general, *producir órganos iguales divergentes*. La ramificación se realiza por instalación de puntos vegetativos en aquellos sitios en que han de brotar ramas y por la diversidad de direcciones de las mismas. Se comprende que las plantas, al ramificarse, no sólo adquieran su verdadero carácter, sino la posibilidad de aprovechar mejor que una simple hilada de células las condiciones externas. Carecen de ramificación las algas más rudimentarias, las bacterias y los mixomicetos; aparece ya en las algas filamentosas y basta comparar una hebra de *Zygnema* con una *Cladophora* para ver inmediatamente que ésta es una forma de alga mucho más completa que aquélla. Y aun dentro de las florídeas un *Plocamium* da la impresión de mucho más perfecta que una *Porphyra*.

Salta a la vista que una planta ramificada se puede extender por varios sitios o en todas direcciones y así utilizar mejor que una no ramificada todas las condiciones de vida de un espacio dado; hasta las formas más sencillas pueden realizar una división del trabajo, por ejemplo, unas ramitas están encargadas de los órganos reproductores mientras que otras atienden sólo a la nutrición. Si la ramificación se efectúa no sólo en uno sino en ambos extremos de una planta, tendremos la posibilidad de un contraste entre tallo y raíz. Pose-

yendo raíz ya puede una alga sujetarse a una base y de esta manera conseguir posición erguida y fija.

La ramificación determina especialmente el comienzo del desarrollo de la forma característica de las plan-

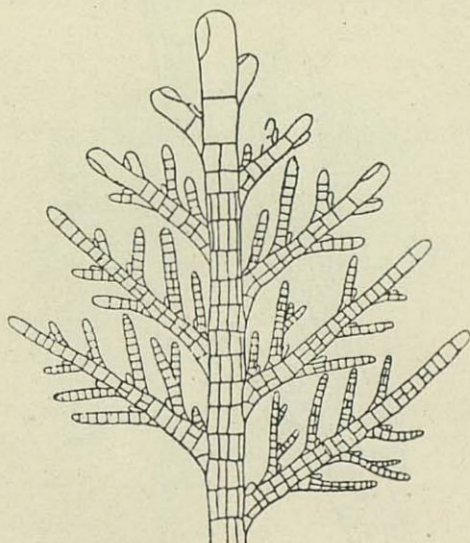


FIG. 16. *Halopteris filicina* (GOEBEL). El eje termina en una célula apical voluminosa en la que aparecen tabiques en forma de vidrio de reloj, y de estos segmentos toman origen las ramas que a su vez se ramificarán de la misma manera pero sin sobresalir las jóvenes de las anteriores, de modo que se produzca un crecimiento simétrico

tas, pues las ramificaciones se hacen en sucesión regular. Las ramas más jóvenes salen más próximas al ápice y cuando todas las generaciones de ramas quedan algo retrasadas en desarrollo con respecto a la parte que las ha producido, entonces se destaca un tronco principal y ramificaciones laterales [eje principal y ejes laterales (fig. 16)].

Pero tales plantas pertenecen todavía a un tipo sencillo, pues si bien presentan fina articulación comparadas con los lóbulos de una *Porphyra*, con todo las

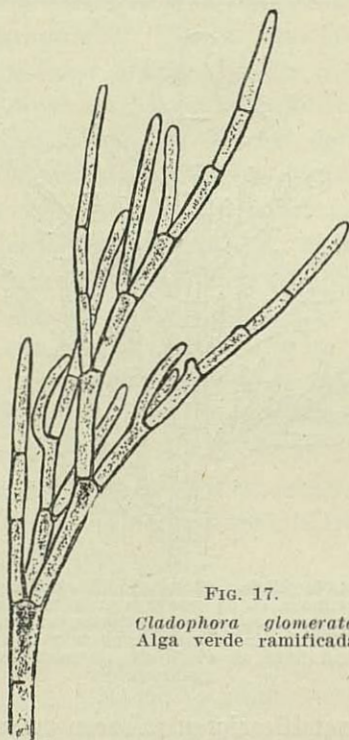


FIG. 17.

Cladophora glomerata.
Alga verde ramificada

ramas sólo son una repetición del eje principal y no constituyen una diferencia esencial de forma. Tallo principal y ramas tienen todos la misma misión: servir a la nutrición de la planta.

En los tramos inferiores de la vida vegetal es menor la dependencia de la planta con respecto a la naturaleza circundante y por tanto están menos desarrolladas sus relaciones con el mundo externo. Una bacteria, un hongo, vive exactamente lo mismo a la luz del día que

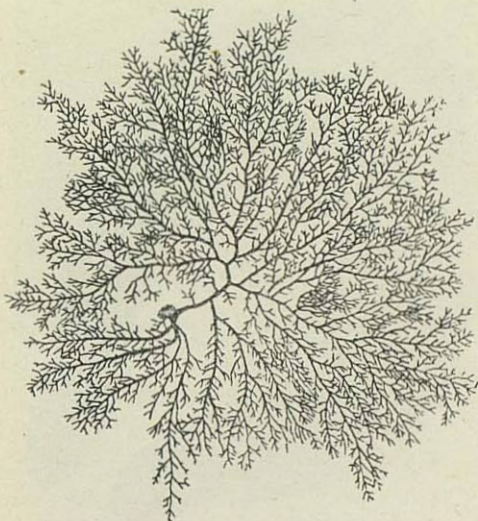


FIG. 18. *Plocamium coccineum floridea* ramificada, ejemplo que contrasta con la *Porphyra*, alga laminar

en la penumbra o en la oscuridad completa de una cueva. A pesar de la necesidad de agua, algunas algas inferiores pueden vivir en los tejados o sobre la corteza de los árboles, donde sufren una gran desecación que soportan sin grave daño esperando a que les llegue nueva humedad. Pero la inmensa mayoría de las formas vegetales no se han desarrollado independientemente, sino que se han formado en nuestro Globo, poniéndose

con cierta lentitud en consonancia con las condiciones naturales para poderlas utilizar cada vez mejor.

En consecuencia, sus formas no constituyen algo comprensible por sí mismo, sino que se han ido poniendo

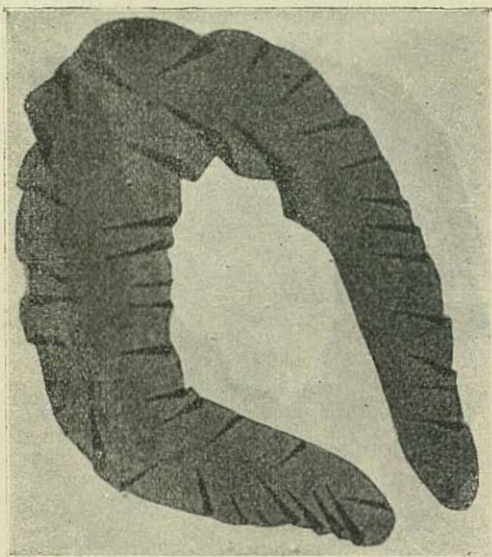


FIG. 19. *Porphyra vulgaris*. Alga marina constituida por una lámina de color violeta

más o menos a tono con las condiciones del medio y concuerdan en su forma con la mayor o menor humedad del ambiente, la intensidad de la luz, el fondo sobre que viven, la proximidad de otras plantas, etc. Esto se llama *adaptación al medio* en que viven. La adaptación ha conducido a maravillosos cambios de forma de las ramificaciones haciéndolas aptas para determinados

finés. Hay partes de la planta que, a pesar de su origen común, son de aspecto muy diferente, si bien su forma se explica teniendo en cuenta el papel que les está asignado en la vida de la planta. En otras palabras: los miembros que forman la planta, las simples ramificaciones se transformarán en órganos, en instrumentos de vida. Indudablemente, la facultad, lentamente adquirida por la planta, de formar por ramificación distintos miembros, ha sido el primer paso que ha hecho posible el desarrollo de órganos.

Consideremos ahora la pequeña y elegante alga conocida con el nombre de *Draparnaldia* (dedicada al botánico Draparnaud). Esta planta tiene un delicado tallito ramificado de proporciones minúsculas protegido por una masa envolvente gelatinosa que él mismo segrega. Al principio, tanto las células del tallo como las de las ramitas, contienen clorofila, si bien más tarde ésta desaparece del primero y entonces la nutrición y después también la reproducción del alga corren a cargo de las ramificaciones. Al tallo sólo le queda el papel de soporte o sostén. Las ramificaciones laterales hacen el efecto de órganos especiales semejantes a las hojas de las plantas superiores, en las que, por lo general, el vástago central o tallo es el *soporte* de las hojas provistas de clorofila (fig. 20).

Hacia abajo se continúa el tallito de la *Draparnaldia* por tubos incoloros (rizoides) que aparecen como raíz por oposición a la parte superior (en la figura 20 no están representados los rizoides pero pueden verse en la 23).

Pueden tomarse aquí las ramificaciones laterales como precursoras o prototipo de órganos foliares de las

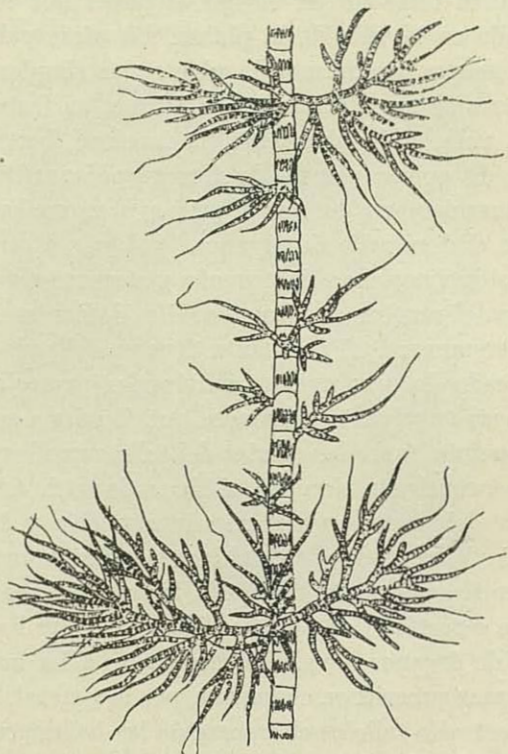


FIG. 20. Trozo de una *Draparnaldia*. (OLTMANN'S)

plantas superiores, a pesar de que comúnmente se consideran como brotes cortos. En un grupo más elevado de plantas, en las hepáticas, encontramos ya tales precursores de las hojas con mayor semejanza en su forma.

Las hepáticas pertenecen a las plantas más ricas en formas, algunas de ellas delicadísimas. También resalta con claridad en muchas de ellas el contraste entre el eje central y los apéndices laterales. En un grupo pequeño de estos musgos los apéndices son hebras simples o ramificadas (figuras 21, 1 y 2). En el *Ptilidium*

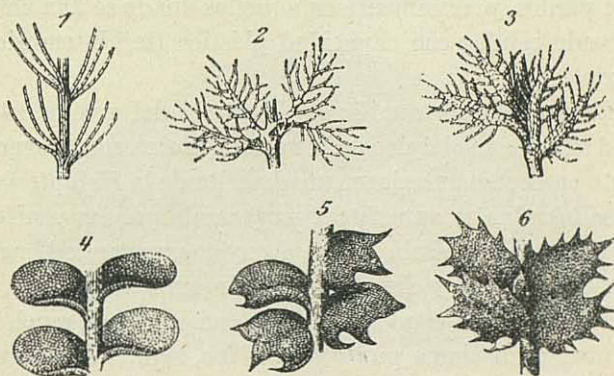


FIG. 21. Hojas de hepáticas. 1. *Jungermannia tricophylla*. 2. *Trichocolea tomentella*. 3. *Ptilidium ciliare*. 4. *Jungermannia pumila*. 5. *Jungermannia quinquedentata*. 6. *Polyotus magellanicus*

existe ya una laminita en el centro que le da aspecto foliar, el cual es completo en las tres hepáticas representadas en la parte inferior de la figura, de tal manera que, aun cuando anatómicamente y también por su origen sean bien distintas de las hojas de las plantas superiores, se las designa, sin embargo, con el mismo nombre.

También en las hepáticas y de la misma manera en los musgos foliosos, helechos, equisetos, licopodios y *Selaginella* se forman los órganos laterales a expensas de

una célula apical colocada en el extremo del tallito, para lo cual sufre particiones con mucha regularidad.

Si se analiza la ramificación y la formación de órganos en las plantas superiores, se observa que aquéllas están sujetas a la misma ley: que las neoformaciones de órganos laterales sólo pueden realizarse en determinados puntos, precisamente en aquellos donde se han conservado células con capacidad plástica (tejido embrionario).

En un tallo no ramificado la región del crecimiento está situada en el ápice de la misma manera como hemos visto en el caso anteriormente descrito de la *Halopteris*; pero las plantas superiores, empezando por las coníferas, no poseen célula apical a cuyas expensas se haga la ramificación y formación de órganos, sino que en su lugar hay un cono redondeado compuesto de muchas células. Se le llama *punto vegetativo*, siguiendo a Gaspar Federico Wolff, que fué el primero que estudió al microscopio la formación de los órganos vegetales.

Pero antes de aclarar lo referente al punto vegetativo debemos hacer resaltar un hecho general de la configuración de las plantas. Consideremos plantas de los diversos tramos del desarrollo algas: hongos, musgos, helechos, fanerógamas, y busquemos cuántas son absolutamente simétricas y encontraremos que solamente lo son unas pocas algas esféricas o colonias de *Volvox*, pues la casi totalidad de las plantas presenta una marcada diferencia según dos direcciones opuestas.

Un ser microscópico, *Characium*, alga pequeñísima, está constituido por una célula verde con una prolon-

gación en una especie de pie incoloro terminando en un disco adherente con el cual puede fijarse esta plantita acuática a otras plantas u objetos. Este antagonismo es todavía más sorprendente en otra alga, el *Botrydium granulatum*, en la cual crecen en sentido opuesto un extremo superior esférico y verde y otro

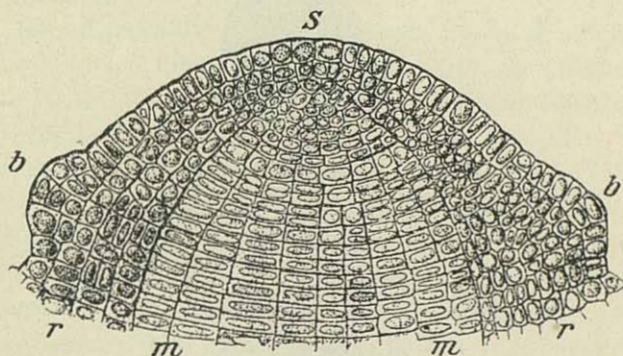


FIG. 22. Punto vegetativo de un brote (yema de invierno), del abeto blanco. *S*), ápice del punto vegetativo. *bb*), trazas foliares más jóvenes. *rr*), corteza joven. *mm*), médula del futuro eje caular (muy aumentado). El conjunto está formado por tejido embrionario de pequeñísimas células con núcleo relativamente grande. (SACHS)

inferior, ramificado e incoloro, semejante a una raíz (figura 23).

Pero aun organismos sin clorofila suelen presentar esta oposición.

Este hecho general puede explicarse biológicamente teniendo en cuenta que las plantas provistas de clorofila han de exponer a la luz la parte en que ésta se halla contenida mientras, por otra parte, necesitan un

soporte fijo a una base o substrato del que a veces toman sustancias que utilizan para su alimentación. Por otra parte, los órganos reproductores aparecen sobre la parte erguida de la planta a fin de que las células germinales puedan difundirse.

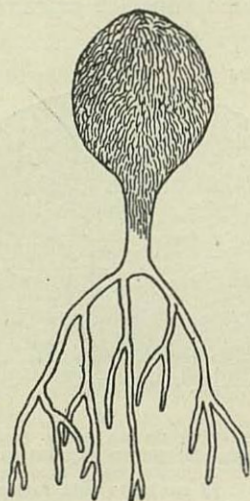


FIG. 23. *Botrydium granulatum*, alga con un extremo superior verde y el inferior ramificado e incoloro

La generalidad de esta oposición orgánica se explica con sólo tener presente dos importantísimas funciones: alimentación y reproducción.

Aun se destaca más la diferencia en las plantas superiores, por ejemplo, la plántula de una dicotiledónea. La parte que se levanta al crecer tiene aspecto diferente al de la que se desarrolla hacia abajo. La primera se llama *tallo* y la segunda *raíz* de la plántula, y cada

una tiene en su extremo un punto vegetativo que permite la formación de los órganos laterales. También difieren los órganos laterales del tallo y de la raíz. La raíz produce exclusivamente raicillas laterales. El punto vegetativo del tallo o vástago forma por el contrario dos clases de órganos laterales, que son las hojas y los brotes.

Esta disposición se aclarará con la ayuda del esquema de una planta dicotiledónea (fig. 24). En el extremo radical y en el caulinar están marcados con sombreado los puntos vegetativos. El punto vegetativo de la raíz está cubierto por la cofia y el del tallo se halla envuelto por las hojas más jóvenes. Poco tiempo después de su desarrollo se originan en su axila (ángulo superior que forma la hoja con el tallo en que está fija) puntos vegetativos que juntamente con las hojas quedan separados al crecer el tallo, apareciendo entonces como yemas axilares. Se acostumbra a llamar *eje* al tallo portador de hojas, en oposición a éstas y se distinguen así un eje principal y ejes laterales (ramas). Imaginándonos ahora que cada rama lleva hojas igual que el tallo y que de sus yemas axilares pueden salir otras ramas, tendremos una idea del *complicado sistema de ramificación*, tal como se ve en las plantas superiores, tanto herbáceas como arbóreas. De forma que los puntos vegetativos son condición previa para que la mayoría de las plantas se ramifiquen. Por un comportamiento distinto de las yemas durante el crecimiento se originan, con idénticos rudimentos de ramas, dos formas esencialmente distintas de ramificación a las que se

pueden referir la mayoría de los sistemas de crecimientos, ya sean de hierbas, ya de árboles, ya de porciones de estas plantas como son las inflorescencias.

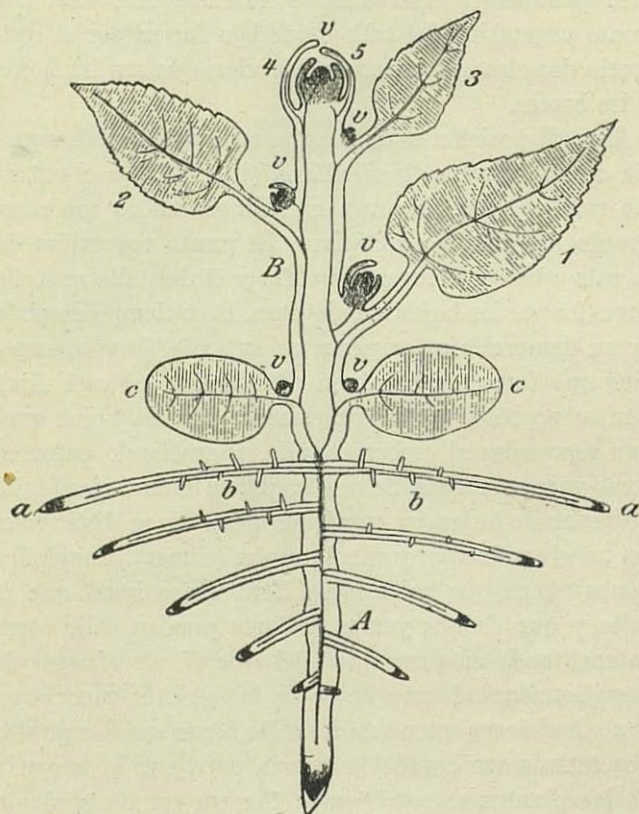


FIG. 24. Esquema de una planta dicotiledónea en desarrollo. A), raíz principal (raíz embrionaria), con raicillas laterales *b*, cuyos puntos vegetativos están cubiertos lo mismo que el de la raíz principal por las pilorizas o cofias. B), tallo con sus cotiledones *c* y cinco hojas (1-5), en cuyas axilas hay yemas *v*

Puede ocurrir que las *ramas* queden retrasadas en su desarrollo con relación a sus ejes principales, y entonces se produce un sistema de crecimiento, como el representado en la figura 25, *a*, de contorno piramidal.

Si por el contrario, son los ejes principales los retrasados y las ramas crecen más pero con uniformidad entre ellas, toma el sistema otro aspecto (fig. 25, *b*).

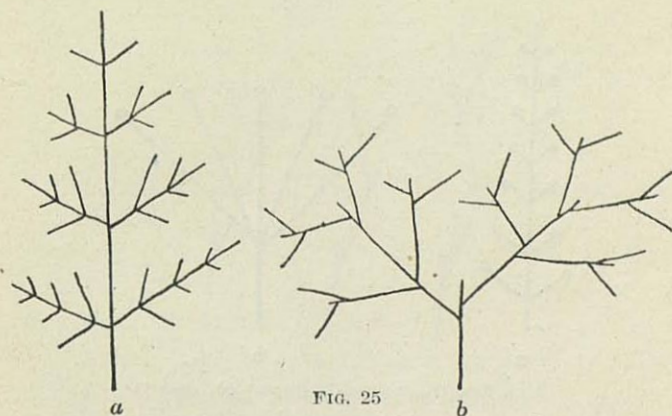


FIG. 25

Puede reconocerse con facilidad que muchas coníferas están constituídas según el tipo de crecimiento de la figura 25, *a*; o dicho de otro modo, el crecimiento piramidal depende solamente de que se mantienen constantes las relaciones de crecimiento entre el tronco principal y las ramas.

La figura 25, *b*, puede explicarnos, por el contrario, la manera de ramificarse un árbol de hoja caduca que, en vez de terminar en punta, se extiende cada vez más. Si trasladamos estos dos sistemas de ramificarse a los

brotos florales, obtendremos en el primer caso un racimo piramidal o panoja y en el segundo una umbela o un dicasio (fig. 26, *a* y *b*).

La ramificación representada por *a*) en la figura 25 se llama en general *racimosa*; la otra, *cimosa*. Otras ramificaciones notables se producen también cuando las yemas no se desarrollan formando ramas *simétrica-*

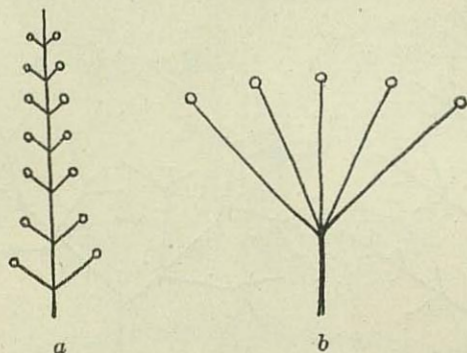


Fig. 26. a) racimo de flores; b), umbela

mente colocadas, sino que producen brotes que alternan de dirección sobre un eje.

Supongamos que normalmente nacen yemas en las axilas de las hojas del tallo, pero que no todas las yemas dan ramas en todas las direcciones del espacio, sino sólo una de ellas, mientras que las otras se atrofian, originándose así una forma asimétrica (fig. 27, *a*). Si se produce otra ramificación entonces la rama originada se conduce de la misma manera, pero la nueva sale en dirección opuesta a la primera y así sucesiva-

mente; cada vez hay un cambio en la dirección del brote.

Como los trocitos que quedan en el extremo de las ramas caen al poco tiempo, queda solamente un eje provisto de hojas formado por una serie de brotes que simulan un eje único continuo pero que, en realidad, está formado por muchos artejos unidos en ángulo por

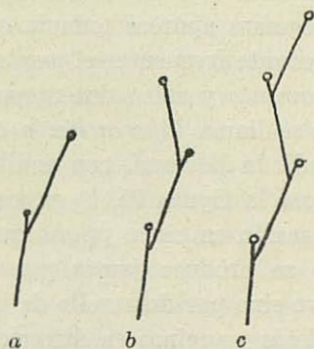


FIG. 27. Formación de un simpodio

lo cual se le llama *simpodio* en oposición a *monopodio*, que es la palabra para designar en conjunto los sistemas en racimo y en cima. En los simpodios se originan estiramientos ulteriores que anulan los ángulos, con lo cual los diversos artejos se ponen exactamente unos en prolongación de otros; y entonces es muy difícil o imposible distinguirlos de un monopodio con eje principal auténtico. Un ejemplo en el que se puede observar muy bien la formación de un simpodio es la rama de tilo. La yema terminal de cada brote se marchita y

no crece más, y, alternando de lado cada vez, un brote lateral continúa el desarrollo de la rama desempeñando el papel del brote terminal.

Según esto, tampoco el tronco que se origina más tarde de un tilo responde al eje primitivo embrionario, como pasa con el abeto, sino que está formado por nuevas generaciones de ramas o ejes laterales, pero que se estiran hasta constituir un tronco erguido.

En las criptógamas aparece todavía otra forma de ramificación bastante frecuente; el *punto vegetativo se divide simétricamente* y salen dos ramas con ángulos idénticos; esto se llama *bifurcación* o *dicotomía*. No hay que confundir la dicotomía con una bifurcación de otro origen (véase la figura 25, *b*) procedente del sistema de ramificación en cima, puesto que esta última bifurcación no se produce jamás por partición del punto vegetativo sino por desarrollo de *dos puntos vegetativos* completos y vecinos en direcciones divergentes, como ocurre en el muérdago, en la lila y muchos arbustos.

Claro está que también tiene influencia en la forma de las plantas el ángulo que forma el eje principal con los laterales. La forma de un árbol está influída especialmente por la dirección horizontal, ascendente o descendente de las ramas y también en las plantas leñosas por el distinto crecimiento en espesor del eje principal y de los laterales. Una plántula puede llegar a ser un árbol si el eje que crece verticalmente tiene un crecimiento en longitud y en espesor, mayor que el de todos los ejes laterales. Los ejes laterales inferiores, es decir,

los más viejos, suelen tener vida efímera y en gran parte se desprenden, con lo cual adquiere el árbol un tronco desprovisto de ramas.

Esto ocurre de preferencia cuando los árboles se hacen sombra mutuamente en su base, mientras que los que viven aislados tienen con mucha frecuencia ramas hasta el suelo.

La forma arbustiva, por el contrario, se origina a causa de que las ramas laterales más bajas no quedan inactivas sino que alcanzan el mismo desarrollo que el eje principal procedente del embrionario, pudiéndose decir que un arbusto consta de muchos troncos equivalentes o de la misma importancia. Aquí ningún eje demuestra una preponderancia del brote terminal como pasa en los árboles, y, a menudo, la yema apical del eje pasa a formar flores o se atenúa su crecimiento, con lo cual queda puesto un límite a la altura; ésta es la causa de que el arbusto siga creciendo en anchura por medio de brotes laterales.

Por lo demás, pueden hallarse estados intermedios entre la forma arbórea y la arbustiva. Muchas plantas leñosas que tendríamos que llamar árboles atendiendo a su altura tienen, como los arbustos, varios ejes principales del mismo grueso. Por esto se suele hacer otra distinción entre árboles de pie sencillo o múltiple, pero estos últimos son raros.

Las plantas perennes producen en nuestro clima, en períodos regulares muy exactos, una generación anual de brotes. Cada eje en crecimiento aumenta cada año un trozo, renuevo o retoño anual, y durante el verano

queda preparado ya el nuevo brote, en forma de botón, que permanece todo el invierno como yema durmiente, hasta que, en la primavera acaba su desarrollo. Vemos por tanto que cada árbol y cada arbusto añade a cada una de sus ramificaciones un nuevo piso o generación anual de brotes. Como consecuencia de heridas o deterioros de cualquier clase, heladas, ataques de los insectos, sequías estivales o de la poda se producen trastornos en la salida de los brotes, pero de todas maneras, aun sin esto hay sensibles diferencias completamente normales que originan formas diversas o tipos de ramificación que dan a las plantas aspectos característicos (*Habitus*).

Los árboles que no pierden la yema terminal con su poder de crecimiento, pueden conservar la procedente del embrión hasta una edad considerable. Esto se ve con gran claridad en el Abeto o en el Pinabete, cuyo tronco, que alcanza hasta la cima, procede del eje embrionario; las ramas horizontales son brotes de primer orden, y crecen de la misma manera por sus yemas terminales, originándose así todos los grados de la ramificación en la misma forma que en la primera. También en muchos árboles de hoja caediza, con yema terminal persistente, puede seguirse bien el eje principal, por lo menos en los árboles jóvenes, por ejemplo *Aesculus*, *Fraxinus*, *Acer*. Pero con más frecuencia también toma la dirección del eje principal una rama más fuerte que el primitivo, con lo que se oculta la primera disposición.

Hay otros árboles y arbustos que no producen yemas de invierno en la punta de sus brotes que se marchitan, y al año siguiente continúa el crecimiento la yema axilar de la hoja más joven que hubiere llegado a desarrollarse completamente. Por ejemplo en *Tilia*, *Ulmus*, *Carpinus*, *Robinia*, etc. En estos casos el sistema de ramificación es un simpodio y naturalmente, el tronco, en lugar de ser continuación del eje embrionario, es también un simpodio.

La formación de brotes florales no tiene por lo común ninguna influencia en la forma de la copa cuando aparecen en la axila de las hojas del renuevo anual, como sucede en los *Rhamnus*, *Fagus*, *Quercus*. Después de la florescencia se desprenden los brotes florales y como en sus hojas portadoras o brácteas no se forman yemas de invierno, los brotes florales no contribuyen a la ramificación. En el caso de los árboles frutales, que es mucho más frecuente, las flores están ya preparadas desde el verano anterior, es decir, salen de yemas de invierno, colocadas por lo común lateralmente y, a menudo, fáciles de distinguir, por su tamaño, de las yemas foliares. Frecuentemente no hay hojas en tales yemas, pero existen en otros casos (yemas mixtas), si bien son débiles y se destruyen con facilidad. Otro caso distinto es el de plantas en que el eje foliar pasa al fin a eje florífero. Como este último perece después de madurar el fruto, resulta que tales brotes carecen de yemas terminales y sólo las tienen laterales (*Sambucus*, *Ligustrum*, *Philadelphus*, *Viscum*). A consecuencia de la interrupción del crecimiento terminal y de la posición de

las hojas a ambos lados del eje, las ramas que salen de sus axilas forman una bifurcación que no hay que confundir con la verdadera dicotomía, según hemos dicho anteriormente. Por el contrario, en otras plantas, la lila por ejemplo, la bifurcación procede de que normalmente aborta la yema terminal, colocada por encima de las últimas laterales, y las flores salen como las hojas, de yemas de invierno laterales.

Influye en la manera de ramificarse una planta leñosa el que se formen yemas de invierno en todas las hojas o sólo en algunas. La mayoría de los árboles de hoja caduca están en el primer caso, pero lo frecuente es que sólo lleguen a brotar y desarrollarse las yemas superiores. En el roble las hojas de cada brote anual están agrupadas en el extremo y, por consiguiente, al caer aquéllas, la yema terminal se encuentra rodeada de numerosas laterales, mas, la próxima ramificación tiene lugar exclusivamente a costa de una yema lateral que alterna de dirección cada vez, dando por resultado una copa de crecimiento nudoso.

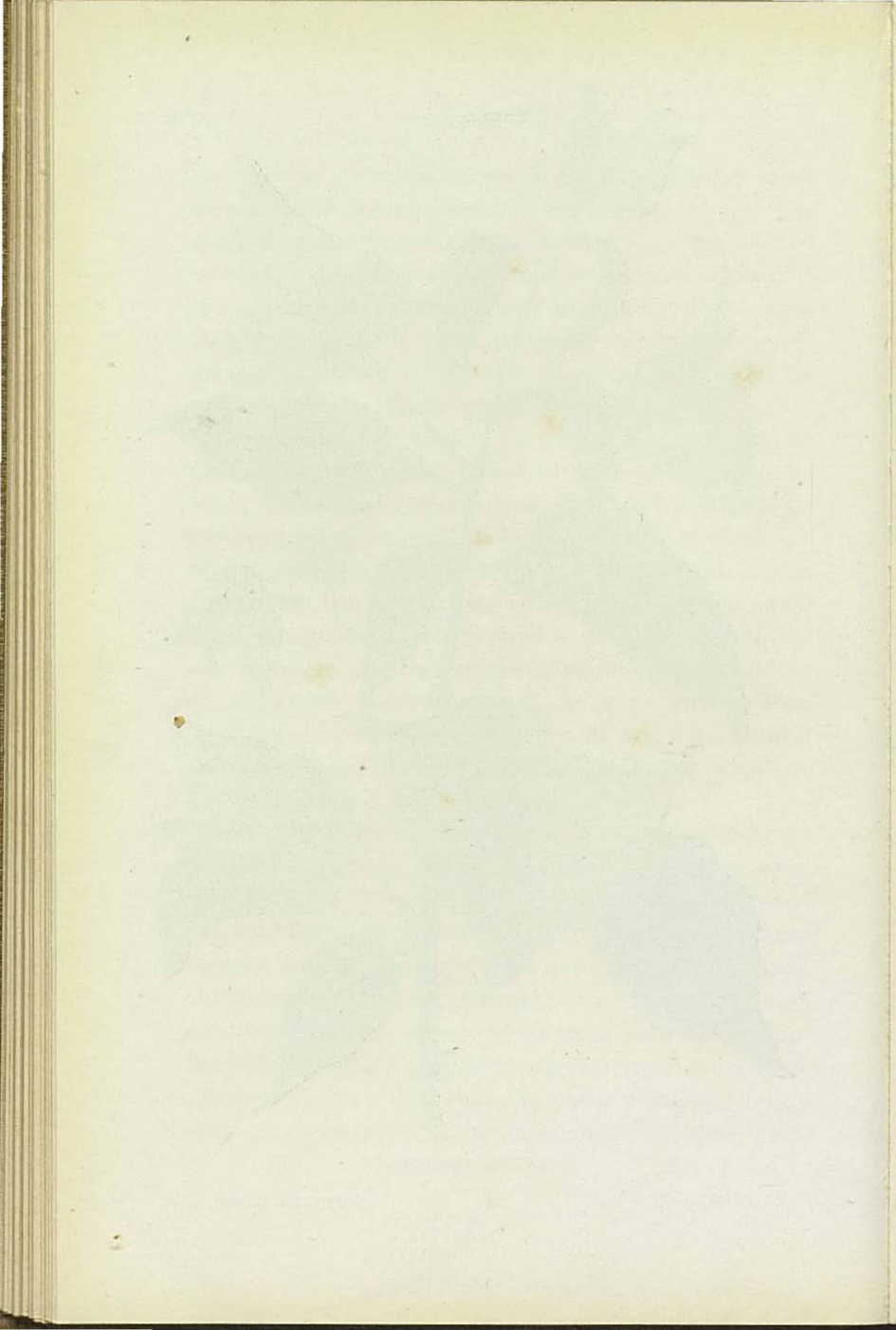
Todavía resalta más la influencia del número de yemas en los brotes de las coníferas. En el abeto y el pinabete (*Abies* y *Picea*) pocas son las hojas que tienen yemas axilares; en los brotes erguidos hay siempre unas cuantas hojas de las superiores que forman yemas laterales casi en verticilo por debajo de la terminal, lo cual permite apreciar con gran precisión la edad de los árboles jóvenes, puesto que cada verticilo con el trozo de vástago que hay debajo de la yema terminal, representa el crecimiento de un año. Otras coníferas, pino,



Bougainvillea spectabilis

La Planta. 2





alerce y cedro, se apartan en este particular de las anteriores. Aquí, los brotes terminales, que continúan anualmente el crecimiento de la copa, no llevan hojas sino unas escamitas delgadas y que ni siquiera son verdes, en cuya axila se forman brotes minúsculos y de ellos nacen dos hojas aciculares o un grupo de fasciculadas. Lo característico de estos brotes reducidos (brotes cortos) es que no se desarrollan más, permaneciendo toda su vida con las dimensiones primitivas, y hasta las dos estipulitas que al principio los envolvían, caen más tarde. Según acabamos de decir, el brote corto no se alarga jamás, y al cabo de algunos años se desprende con sus hojas entre las que estaba colocado un punto vegetativo. Una cosa parecida acontece con los alerces. La ramificación de los pinos, etc., se continúa solamente por algunas de las yemas terminales; todas las demás quedan relegadas a la categoría de brotes cortos.

En los árboles de hoja caduca (haya) son raros tales brotes cortos; tienen el aspecto de yemas con pedicelo largo, crecen muy lentamente y no contribuyen a la arquitectura del árbol.

Metamorfosis

Las plantas, dotadas de punto vegetativo, pueden formar los órganos que por el momento son suficientes para su existencia y además tienen la notable propiedad de adaptar estos órganos para otros fines si se hace necesario, fenómeno que Goethe llamó *metamorfosis*. Esta capacidad es por completo característica de las plantas y puede observarse desde las criptógamas a las fanerógamas. Claramente se ve que en ello hay una economía, un ahorro de energía, pues el gasto será menor cuando para responder a otro objeto un órgano se modifique, que si tuviera que ser formado completamente de nuevo. Tales neoformaciones tienen, empero, que aparecer, puesto que la planta, como ya se ha dicho, al principio sólo posee los gérmenes (*Anlagen*) correspondientes al reducido número de órganos fundamentales y no para todos los que más tarde sean necesarios.

Todas las plantas, con rarísimas excepciones, producen en el curso de su vida *órganos de reproducción*, que en las plantas superiores se llaman flores. De estas flores no se halla, sin embargo, en las primeras fases del desarrollo de la planta, ningún signo, no hay toda-

vía ningún bosquejo. Las observaciones de Goethe sobre las relaciones de las flores con la planta llevaron su atención hacia ciertas formas anormales de flores que a veces se producen casualmente y que indican más claramente que las flores normales su analogía con los vástagos que sólo llevan hojas. Ocurre que en estas formas anómalas aparecen todas las partes de la flor, o algunas de ellas, transformadas en hojas verdes. Lo contrario ocurre, incluso normalmente, en otras plantas (*Bougainvillea*, *Poinsettia*) (Lámina I), es decir, que las hojas verdes se transforman en órganos de aspecto floral provistos de otras coloraciones. De estos casos dedujo Goethe las relaciones genéticas de las partes de la flor como metamorfosis de una yema foliar. La exactitud de esta opinión resultaba también muy probable por las investigaciones microscópicas de G. F. Wolff; pero hasta el perfeccionamiento del microscopio y de los métodos de observación microscópica no fué confirmada plenamente. Cada flor es un vástago, cuyos bosquejos de hojas se transformarán en portadores de esporas (*Esporófilas*), es decir, en hojas que producen las células reproductoras. Pero también en las plantas sin flores (Criptógamas) es a menudo igualmente clara la formación de los órganos reproductores por metamorfosis de órganos vegetativos. En los hongos y algas aparecen los esporangios como metamorfosis de ramificaciones vegetativas. En las marcanciales se modifican algunos lóbulos del tallo, originando los pedúnculos que soportan los anteridios o los arquegonios; en muchos helechos, numerosas frondas de disposición foliar se

transforman en hojas esporíferas (*Blechnum*, *Osmunda*, *Struthiopteris*); y frecuentemente se hallan en los citados helechos, así como en la especie *Botrychium lunaria*, muy bellas transiciones entre frondas foliares y esporófilas.

Además, solamente con la ayuda del concepto de metamorfosis, podemos explicarnos el origen filogénico de los órganos reproductores. Ni las criptógamas tenían al principio órganos sexuales ni tampoco las plantas superiores tenían flores al hacer su aparición sobre la Tierra. También hoy en día nacen las flores después de los órganos vegetativos y sobre ellos. Por tanto, no nos queda otra manera de imaginarnos el origen de las flores, así como de los más sencillos órganos reproductores, sino como una modificación de órganos vegetativos; y lo garantiza el hecho de que, en el proceso del desarrollo de una planta cualquiera, es decir en el desarrollo ontogénico, todavía puede verse hoy esta modificación.

Ya indicó Goethe que la metamorfosis no sólo aparece en la formación de las flores sino que también los órganos vegetativos, tallos, hojas y raíces pueden cambiar de forma para otros fines. Así, las cebollas, tubérculos y rizomas son metamorfosis de tallos que crecen subterráneos y que se forman lentamente de los rudimentos corrientes de tallo. Los zarcillos de las vides y de las calabazas son tallos transformados en órganos para trepar; los zarcillos de las alverjas, guisantes y otras trepadoras son metamorfosis de hojas o partes de hojas. Plantas constituídas para atrapar insectos, como

las llamadas insectívoras, no han engendrado nuevos órganos para este objeto sino que han modificado (metamorfoseado) sus hojas. Igualmente, raíces corrientes se metamorfosean en algunas orquídeas y otras epifitas y se hacen órganos fijadores; en otras plantas, se vuelven carnosas y sirven para acumular sustancias de reserva, como en el nabo; más raramente pueden convertirse en órganos asimiladores o respiratorios.

Así, la metamorfosis es el medio más general por el que una planta puede procurarse órganos apropiados para funciones nuevas a expensas de los órganos que poseía.

Morfología experimental

Mientras se admitía que los seres vivos se formaban por leyes internas e impenetrables, tenían que aparecer las formas existentes como las únicas que podía producir la Naturaleza, y se admitía que, con las formas presentes, quedaba agotada su capacidad creadora. Esta creencia, que parecía apoyada especialmente por el hecho de que cada especie de plantas sólo producía plantas idénticas, se ha ido debilitando merced a varias observaciones. Se vió que, a consecuencia de influencias externas, podían obtenerse a veces formas completamente nuevas que no aparecen en las condiciones de vida normales. A estas formaciones particulares pertenecen por ejemplo las variadísimas agallas: a causa de heridas producidas por ciertos insectos, las plantas atacadas en sus yemas, hojas o flores, forman viviendas para las larvas de dichos insectos, de llamativa, y a veces simétrica forma, que no aparecerían en otro caso. Estas agallas tienen formas que se apartan enteramente de las que tienen los órganos normales de la planta correspondiente y a menudo poseen una anatomía completamente distinta (Lámina II). Por lo

demás, se observan con frecuencia en el reino vegetal desviaciones de las formas normales que entonces se llaman patológicas, anomalías o deformaciones. Esto prueba, por tanto, que las plantas en las condiciones corrientes o normales no demuestran todas sus aptitudes formadoras; y que por ciertas influencias externas, se puede alterar de tal manera su naturaleza interna que se manifieste esta alteración por formaciones completamente nuevas. Para llegar a la causa de estos fenómenos, la Botánica moderna ha sometido las plantas a la experimentación; y, entre otros Vöchting, Goebel y Klebs, han logrado por medios artificiales provocar las formaciones más asombrosas.

La morfología experimental nos informa de que las llamadas *formas del desarrollo normal no son consecuencia de un poder o influencia interior no modificable*, sino que pueden ser dirigidas por las condiciones del medio. Así, la formación de las hojas primarias redondeadas de la *Campanula rotundifolia*, es consecuencia de la iluminación escasa que tienen las plantitas jóvenes en la Naturaleza. Si se cultivan estas plantitas constantemente en estas circunstancias, sólo producirán hojitas redondas sin que lleguen a aparecer las hojas estrechas que luego vienen en el tallo en condiciones normales. Es digno de mencionarse el hecho de que a veces provocan las mismas formaciones condiciones externas completamente diferentes. Por ejemplo, las hebras ramificadas de *Stigeoclonium* pasan a la forma *Palmella* (células redondeadas aisladas) ya sea por cultivo en solución nutritiva concentrada, ya por la adi-

ción de cantidades reducidísimas de sustancias tóxicas, por ejemplo, sulfato de cobre, ya también por desarrollarse a temperaturas bajas. Luego, las tres condiciones obran de la misma manera sobre el protoplasma para ocasionar el desarrollo de la forma *Palmella*.

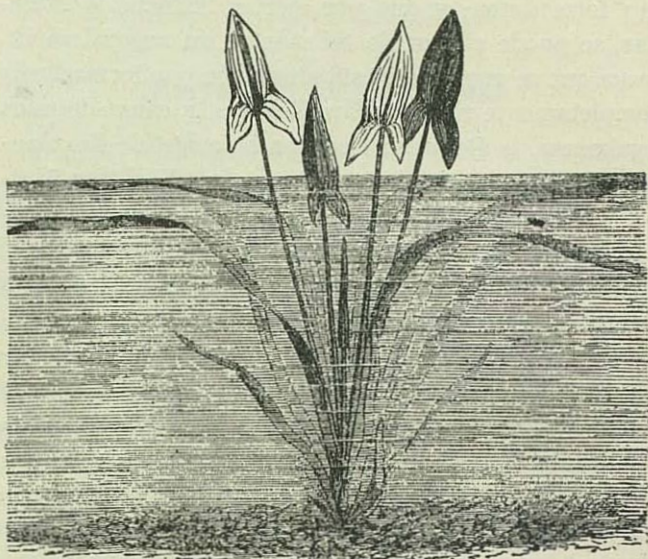


FIG. 28. *Sagittaria sagittifolia* con hojas acuáticas y aéreas

Hay toda una serie de plantas que crecen en el agua pero que también son capaces ordinariamente de vivir en tierra produciendo en cada caso hojas de forma distinta.

Las formas acuáticas tienen hojas más sencillas que las terrestres y al mismo tiempo ostentan a menudo una división más intensa de sus filamentos terminales.

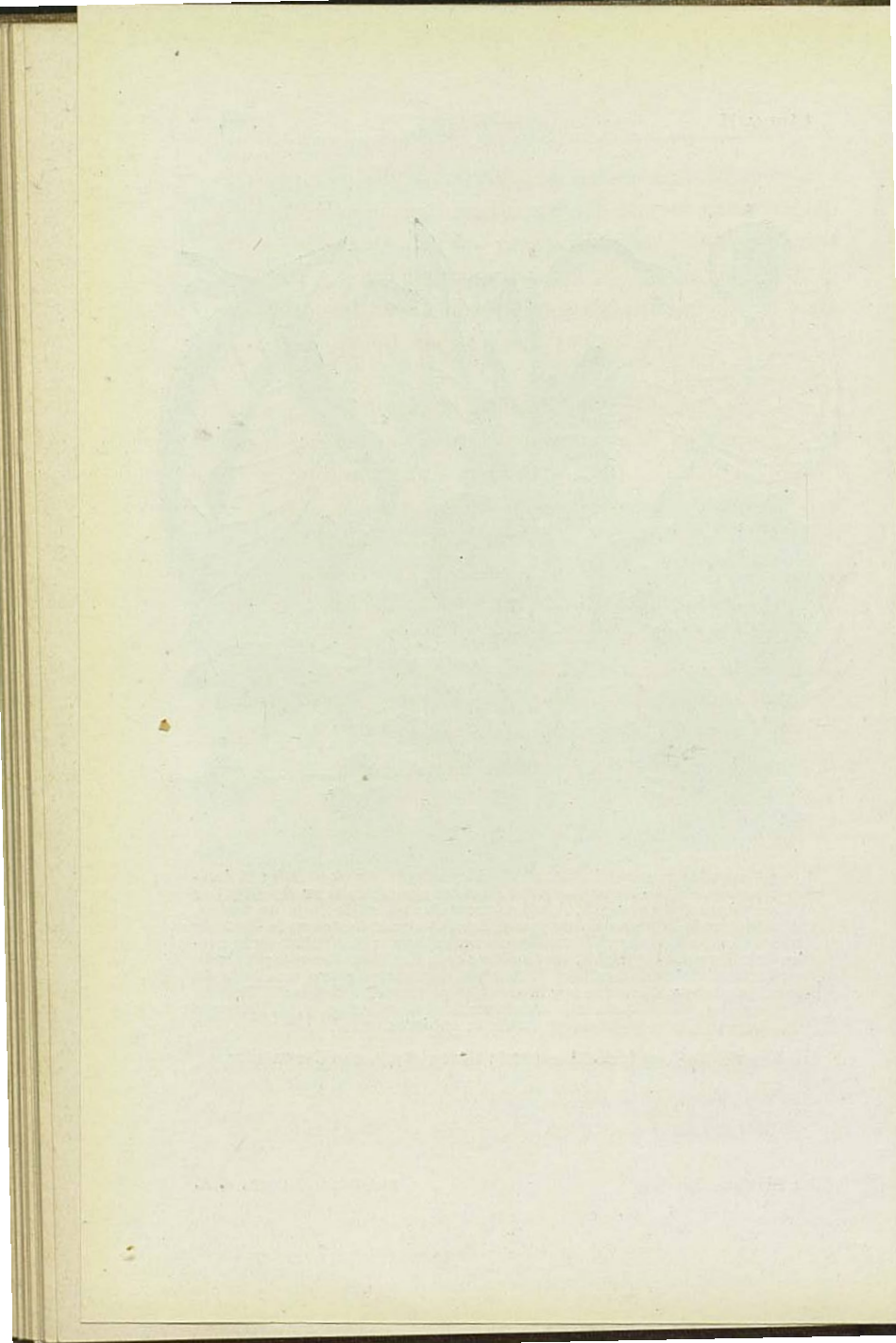


Agallas

1, Agallas en las ramas del pino, producidas por el *Chermes abietis*; 2, Agallas circundantes en los peciolo del *Populus pyramidalis* producidas por el *Pemphigus bursarius*; 3, Agallas circundantes en la hoja de fresno, causadas por la *Diplosis botularia*; 4, Agallas circundantes en la *Pistacia lentiscus*, causadas por el *Pemphigus cornicularius*; 5, Agallas en la corteza de la *Duvalia longifolia*, producidas por la *Cecidosea Eremita*; 6, Corte longitudinal de estas agallas; 7, Agallas capsulares sobre una hoja de *Quercus austriaca*, causadas por la *Cecidomyia (lanetia) Cerris*; 8, Una de estas agallas, vista en corte transversal, con cubierta, y, 9, Después de desprendida la cubierta

Figuras 1 a 7, en tamaño natural; figuras 8 y 9, con 3 aumentos





Se creía antes que la diversa forma de las hojas era debida al medio, aire o agua. Los experimentos demostraron que las *hojas acuáticas* también se producen en el aire y las *aéreas* en el agua. Las primeras se originan siempre a expensas de brotes jóvenes, son *formas juveniles* o primarias; las hojas aéreas son formas posteriores o tardías.

Se distingue particularmente la *Sagittaria sagittifolia* que en la Naturaleza está provista de hojas acuáticas acintadas y otras aéreas con limbo sagitado y en la cual Goebel probó que en la germinación y en el brote de los tubérculos que han permanecido en reposo durante el invierno, estas plantas al principio producen siempre hojas acintadas cualquiera que sea el medio en que se realice el desarrollo. Las hojas en forma de flecha son, por tanto, formas secundarias que sólo se desarrollan cuando la planta ha producido las sustancias necesarias para ello. Esto puede evitarse privando de luz a la planta, y entonces la *Sagittaria* forma solamente hojas acintadas. Por tanto, no es al agua a lo que está supeditada la forma de la hoja acuática, sino a las condiciones ligadas al crecimiento en aguas profundas entre las cuales se encuentra la falta de luz. Esta falta de luz influye en la elaboración de las materias formadoras. Es por tanto muy particular que el cambio de quimismo interno producido por las condiciones externas ejerza su influencia en la producción de formas. Siendo los bosquejos de ambas formas foliares completamente iguales, la modificación de la forma en cinta en hoja de forma de flecha es, por tanto, un

fenómeno secundario que va ligado también con otra constitución anatómica de las hojas aéreas. En estos casos complicados la morfología experimental ha podido desembrollar los hechos, mientras que la morfología simplemente descriptiva, que se guía por las apariencias, nos conducía a falsas interpretaciones.

Para la comprensión del paralelismo entre las formaciones y los procesos del cambio de substancias en las plantas, es de especial interés el conocimiento de las escamas de las yemas de invierno. Mientras que en verano una yema sólo produce hojas normales, al llegar al fin del otoño se transforman las hojas más viejas y exteriores de la yema en escamas de color castaño, más resistentes, que sirven de protección a toda la yema. Estas escamas están dispuestas en el punto vegetativo como hojas primordiales normales, pero no llega a desarrollarse su limbo sino que solamente crece la parte basal de la hoja tierna y origina por alteración anatómica las escamas de la yema. Por tanto, éstas no son en manera alguna hojas completas, sino solamente las partes inferiores de los primitivos rudimentos foliares. A veces, como ocurre entre otras plantas con el arce y el castaño de Indias, las escamas que cubren la yema presentan un limbo muy reducido, no visible a simple vista, pero que al desarrollarse la yema en primavera, puede crecer hasta formar una hojita, normalmente constituida, antes de la caída de las escamas. Cuando en otoño se forman las escamas de las yemas, sólo llega el alimento suficiente para que se desarrolle la base de la hoja que entonces constituye un órgano nuevo.

La mayor parte de las plantas presentan una marcada simetría de constitución, que se debe en apariencia a unas leyes de modelado desconocidas, pero que sólo se pueden explicar por las condiciones vitales. La simetría hay que concebirla, en primer lugar, como una adaptación a la distribución de los factores externos de vida, es decir, a la distribución de las sustancias nutritivas, de la luz y de la gravedad. La forma simétrica se ha desenvuelto al mismo tiempo que el mundo vegetal y, por consiguiente, no puede ser rígida e invariable como creen muchos. Solamente se puede llegar al conocimiento verdadero de las conexiones de las formas por medio de la experimentación.

La simetría del crecimiento se presenta especialmente acentuada en las coníferas. El tronco principal, que es un eje vertical, está provisto regularmente de ramas laterales verticiladas que, a semejanza del brote terminal, se alargan anualmente un trozo y a su vez, en la misma proporción, echan brotes laterales de manera que la pirámide de un pinabete aumenta de tamaño sin perder por eso su forma simétrica. Si consideramos que el eje vertical (ortotropo) sólo puede continuar creciendo verticalmente y del mismo modo los laterales (plagiotropos) están obligados a seguir desarrollándose en la posición que tienen, nos parecerá la forma del pinabete su consecuencia natural. Pero la experimentación ha demostrado que no se trata aquí de una ley absoluta de forma sino de subordinaciones que son modificales. Por ejemplo: si se destruye el brote termi-

nal de un pinabete u otra conífera, entonces se levanta por lo general uno, a veces varios de los brotes laterales y continúan su desarrollo en posición vertical reemplazando así al terminal. Como esto no ocurre mientras no

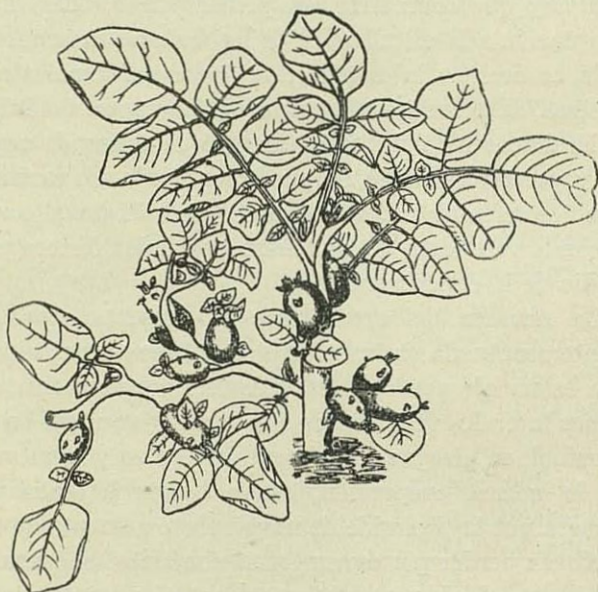


FIG. 29. Planta de patata con yemas caulinares convertidas en tubérculos (según VÖCHTING)

falte el brote de la cima, hay que deducir en consecuencia que éste influye en la posición de las ramas próximas. Una influencia mutua de órganos, como la que acabamos de ver, se llama *correlación*, nombre con el cual no pretendemos naturalmente dar una explicación sino solamente expresar un concepto.

Todavía no sabemos qué es en realidad la correlación ni tampoco si entran en juego acciones químicas, mecánicas o de otra naturaleza energética.

La morfología experimental va poniendo de manifiesto cada vez más palmariamente que la adopción de forma en las plantas no se realiza en virtud de fuerzas misteriosas sino que está determinada por las mismas clases de energía, más o menos conocidas ya por la ciencia, que reinan en la Naturaleza. La asombrosa creación de formas por metamorfosis se ha hecho así más explicable por la experimentación que cuando se descubrió.

Tomemos como ejemplo la notable producción de tubérculos en varias plantas. Cuando una planta necesita un órgano de reserva para guardar las sustancias de repuesto, se forman a menudo órganos constituídos por considerables masas de tejidos que ofrecen un lugar apropiado para el depósito. La planta produce tales tubérculos por metamorfosis de vástagos, raíces o yemas. Las patatas se forman por engrosamiento de las yemas que tienen en la punta ciertos tallos laterales (estolones) que la planta emite y penetran en el suelo.

Puede asaltarnos la sospecha de que los citados estolones sean órganos destinados de antemano a formar tubérculos o bien estén obligados a metamorfosearse por causas determinadas, lo cual sería explicable con nuestros conocimientos. El descubrimiento de hechos extraordinariamente interesantes relativos al origen de los tubérculos se debe especialmente a las extensas investigaciones de Vöchting. Lo primero que se nos podría

ocurrir sería que la formación de tubérculos en determinadas plantas era provocada por la tierra. Más aquí nos ocurre lo mismo que al tratar de la influencia del agua en la formación de las "hojas acuáticas"; "suelo" es una noción de contenido también muy extenso. Vöchting ha demostrado que los estolones no son brotes pre-dispuestos para formar tubérculos, con el siguiente experimento:

Si cortamos un esqueje de una planta de patata, de manera que no quede en el extremo que se introduce en tierra ninguna yema que pueda desarrollarse en estolón, habremos suprimido la posibilidad de que la planta dé tubérculos subterráneos. El tallo sólo produce en el suelo raíces y no tiene órganos de almacenamiento del almidón producido en las hojas. Ahora bien, observamos que las yemas corrientes aéreas del tallo, que seguramente no estaban destinadas a formar tubérculos, se abultan y transforman en patatas. En todos los vástagos portadores de hojas hay por fin pequeñas patatas que, por haberse desarrollado a la luz, están provistas de clorofila. Se han formado tubérculos a pesar de estar expuesta la planta a la luz del día pero se quedan pequeños y echan hojitas; solamente la acción de la luz impide que los tubérculos alcancen la forma y tamaño normales.

De otro experimento de Vöchting se deduce cómo, fuera de las causas internas, es, en efecto, la luz la causa principal de que en las circunstancias normales no se desarrollen las patatas en la parte aérea de la planta. Si se pone en la oscuridad parte de una planta de

patata desarrollada en una maceta, como indica la figura 30, de manera que esté completamente a oscuras un trozo del tallo aéreo, se desarrollan entonces todas

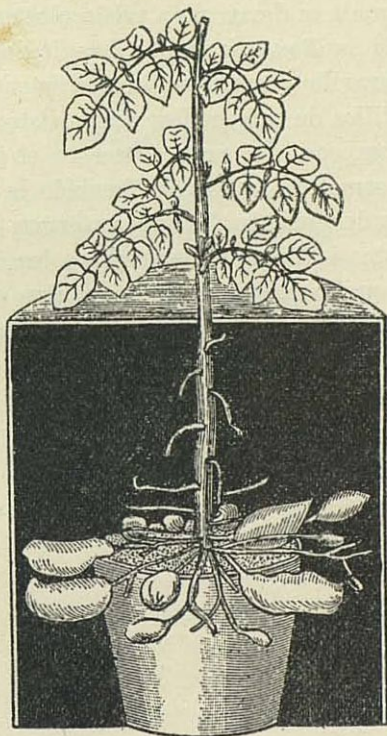


FIG. 30. Formación de patatas al aire y en la oscuridad (VÖCHTING)

las yemas laterales que a la luz darían brotes totiales, dando aquí estolones. Los estolones más bajos del tallo forman entonces tubérculos en el espacio privado de luz a pesar de no desarrollarse en tierra sino al aire;

de manera que por un simple oscurecimiento se puede llevar hasta fuera del suelo la formación de tubérculos.

También en la reproducción por esqueje empleando hojas de *Begonia* se desarrollan tubérculos en los brotes del tallo. En la *Boussaingaultia baselloides* se puede lograr el maravilloso experimento consistente en obtener tuberculillos de internodios desprovistos de yemas o de las raíces, cosa que no acontece en el proceso del desarrollo normal de la planta. También la formación de las flores depende de factores externos, de tal manera, que éstos influyen y determinan los cambios de substancias que la originan. Si se regulan experimentalmente tales influencias volvemos otra vez a formas que se apartan de lo corriente.

Regeneración

Un fenómeno que puede observarse en todo el reino vegetal es la facultad que poseen las plantas de reemplazar las partes perdidas y de esta manera completar otra vez el individuo. Esta propiedad se encuentra también en el reino animal, pero sólo se puede observar en los animales más sencillos, pólipos, gusanos y otros análogos, mientras que los animales superiores no regeneran miembros separados del individuo. Pero precisamente en las plantas superiores es donde, inversamente a lo que ocurre en los animales, se muestra más claro y pronunciado el poder regenerador. Se llama regeneración toda reposición que complete, ya un órgano particular, ya toda una planta. Cuando, por ejemplo, se corta total o parcialmente la punta de la raíz de una plántula en germinación, se producen nuevos tejidos que regeneran la parte cortada. También las hojas y otros órganos crecen de nuevo y reconstruyen su primitiva forma. Si cortamos, por el contrario, la parte aérea del tallo de una planta y lo introducimos en arena húmeda, entonces se origina primeramente por lo común un tejido de cicatrización que forma callo (*Callus*). En este callo aparecen puntos vegetativos, a veces sólo de

raíces, que crecen formándolas nuevas. En este caso no se ha regenerado un órgano sino que se han formado órganos completamente nuevos que reproducen la forma que tenía la planta antes de ser mutilada, por lo que muchos investigadores dan a este fenómeno el nombre de *reproducción* por oposición a la *restitución* de órganos aislados. Con todo, estos procesos son probablemente lo bastante análogos para que podamos abarcarlos todos ellos con la denominación única de *regeneraciones*.

Los casos más interesantes son aquellos en que un trozo de una planta que por sí no podría vivir mucho tiempo, produce por regeneración un nuevo individuo. Lo más llamativo de este caso es que normalmente se repone el *órgano ausente*: en un pedazo de tallo, las raíces, y si lo que tenemos es una raíz se repone el tallo. Si se cortan hojas de un vegetal y se plantan como esquejes, no puede completarse la planta del mismo modo que antes y lo que pasa es que se forma un callo y éste produce puntos vegetativos tanto de raíces como de tallos, cada uno de los cuales toma al crecer el camino que le corresponde, de tal manera que al final queda constituida una nueva planta completa. La regeneración puede tener lugar de dos maneras distintas: o en los trozos cortados aparecen por neoformación puntos vegetativos, o hay un simple desarrollo de esbozos que ya existían, pero que en las circunstancias normales permanecen latentes.

Es muy conocida la formación de plantas nuevas con hojas de Begonia. Si se coloca una de estas hojas, plana,

sobre una capa de arena, se forman en los puntos de unión de las nerviaciones unas excrecencias de aspecto de tuberculillos en las que aparecen puntos vegetativos que dan lugar a raíces y tallos, y, finalmente, nuevas plantas completas, mientras que la hoja se destruye. Se puede aumentar a voluntad el número de plantas que se producen, haciendo una serie de incisiones en la hoja, con un cuchillo afilado, de manera que seccionen nerviaciones. En cada corte se forman nuevos brotes que echan pronto raíces.

De manera análoga puede provocarse en muchos vegetales la formación de nuevos individuos por separación de las hojas de la planta madre. Son a propósito para esto las especies de *Achimenes*, *Peperomia*, *Sedum* y otras muchas que los jardineros propagan por este procedimiento.

También hay especies en que la planta intacta posee los esbozos de tallos y raíces en forma de yemas y puntos vegetativos, pero que acostumbran no salir de su estado de reposo o latente hasta tanto no se separan los órganos en que se hallan colocados de la planta madre. En varias especies de *Bryophyllum* que crecen en los países tropicales se forman yemas latentes en las escotaduras o senos que hay en el borde de las hojas. Si se cortan éstas o caen por sí solas, que es lo que ocurre en su país, entonces arraigan las yemas de las hojas que caen al suelo y producen nuevas plantas. El mastuerzo de prado, *Cardamine pratensis*, tiene una roseta de hojas radicales pinnadas sobre las que se desarrollan unas yemas provistas de esbozos de tallo y

raíz, de manera que, al separarse de la planta una hoja, produce nuevas plantitas con facilidad.

En muchas especies de sauces o mimbreras hay ocultos en la corteza, por debajo de las hojas, esbozos de raíces. Si se corta una rama de sauce y se pone en agua, salen al cabo de un tiempo las raíces que en la planta completa habrían permanecido latentes. Cualquier trozo de rama así desprendido puede ser plantado, arraiga y se obtiene así un árbol. Es asombroso y necesita explicación el hecho de que en todos los casos de regeneración, el desarrollo de vástagos y raíces se produce siempre a continuación de lesiones y como provocado por ellas. Se ha indicado la posibilidad de que, a consecuencia de la herida, se rompa el equilibrio interno y entonces se produzcan corrientes de sustancias hacia la superficie de la herida que provocan la formación de órganos.

Ciertamente que esta explicación es insuficiente, puesto que en muchos casos pueden provocarse neoformaciones sin separación previa. Así, por ejemplo, en las begonias no es necesario separar las hojas; basta quitar todos los puntos vegetativos de las axilas de las hojas y de los brotes adventicios (Goebel). Pero las neoformaciones que aparecen entonces en las hojas fijas al tallo necesitan un tiempo mayor para originarse. Esto se achaca, con todo, a las correlaciones que entran en juego; es decir, que los órganos normales, mientras existen, impiden el desarrollo de neoformaciones. Pero hasta ahora no se puede decir qué causas mecánicas tienen estas correlaciones como fundamento.

Naturalmente parece muy útil para la planta el que un trozo de tallo pueda producir otra vez un sistema de raíces; pero estas razones de finalidad no constituyen una explicación, ya que la finalidad o utilidad es una idea abstracta que no puede desarrollar ninguna acción energética. Las explicaciones mecánicas que se han intentado hasta ahora son muy poco satisfactorias. Así, por ejemplo, Sachs suponía que cada planta produce *substancias formadoras* de órganos, las cuales consiguen acumularse en los sitios de neoformación y allí provocar el desarrollo. Pero no hay ni una observación que haga probable la existencia de tales substancias formadoras. Son una pura invención, y la teoría en conjunto tiene gran analogía con las antiguas ideas de Bonnet ya desechadas por ser igualmente infundadas. La dirección y el movimiento mismo de estas substancias estarían ocasionados, según Sachs, por la fuerza de la gravedad, y del mismo modo la polaridad, la oposición de los lugares de formación de tallos y raíces se explicarían por dicha circunstancia; pero, precisamente en el ejemplo antes citado de la *Cardamine pratensis*, están íntimamente mezclados en los brotes que aparecen en las hojas los rudimentos de tallos y raíces, lo cual contradice la diversa reacción por la acción de la gravedad de las hipotéticas substancias formadoras. Es difícil que este problema se pueda resolver de una manera tan burdamente materialista.

La polaridad de que acabamos de tratar es un hecho observado hace ya mucho tiempo en las plantas, pero cuyo estudio no había alcanzado la importancia que

ahora tiene hasta las observaciones de Vöchting. En cada planta podemos ver una distribución típica de los órganos. El embrión encerrado en la semilla de la planta posee un extremo radicular y otro cotiledonar; del primero se origina el sistema radicular y del segundo el caulinar. Biológicamente se puede comprender esta disposición como una adaptación a dos medios distintos; pero con ello no conseguimos todavía dar una explicación de este hecho constante.

Los estudios de regeneración muestran claramente que esta disposición estriba en condiciones de la planta que aún no se pueden analizar; y por lo que se refiere a la formación de órganos pueden distinguirse un extremo apical y otro basal que se conducen de distinta manera (Vöchting). El desarrollo de los órganos de una planta depende de los factores externos, como la gravedad y la luz, y la dirección de los diversos órganos está determinada por estas fuerzas de tal manera que alterándolas se altera también la dirección o el sentido del desarrollo. La polaridad, por el contrario, es una propiedad inherente a la planta que puede estar ciertamente influída por las condiciones externas, pero no provocada por ellas. Si introducimos, colgada de un hilo, una rama de sauce en un cilindro de vidrio cerrado por ambos extremos y cuya atmósfera mantengamos húmeda, se desarrollan raíces en la base mientras que en todo el resto de la superficie no se formarán, a pesar de existir también por toda ella debajo de la corteza gérmenes de raíces. En el extremo superior brotan las yemas caulinares (figura 31). Si se pone invertida

la rama aún resalta más la polaridad, puesto que entonces crecen los vástagos en la punta que cuelga, cabeza abajo, y las raíces en la base, que está en el extremo superior. Luego, a pesar de su posición invertida,



FIG. 31. Trozo de una rama de sauce colgada verticalmente en un tubo de vidrio y rodeada de una atmósfera húmeda. En *a* se forman brotes de tallos; en *b*, de raíces

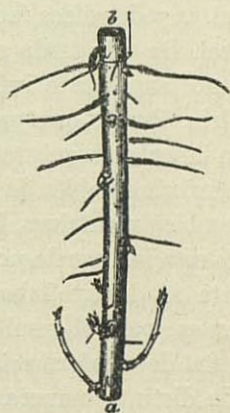


FIG. 32. Trozo de una rama de sauce mantenida en posición invertida. *a*), extremo superior primitivo. *b*), id. inferior

conservan sus propiedades características la base y el ápice, pero la rama toma ahora otra posición por el influjo de la gravedad, lo cual se verifica de la manera siguiente: Las causas internas se esfuerzan en formar raíces en la base natural, y tallos en la verdadera pun-

ta de la rama; la gravedad, por el contrario, pugna por invertir los polos de la planta y tiende a producir ramas en el extremo superior y raíces en el que cuelga hacia abajo. Esta lucha conduce a los resultados que vemos gráficamente en la figura 32. Al principio, salen ramas de la punta dirigida hacia abajo y raíces del extremo opuesto; pero pronto la fuerza de la gravedad entra en acción y ocasiona la salida de yemas cada vez más altas y de raíces cada vez más próximas a la punta natural. De este modo se atenúa la oposición entre los extremos superior e inferior sin llegar, empero, a suprimirla. Puesto que para el desarrollo de los órganos deben aportarse sustancias alimenticias, parece que debe influir también la gravedad en estos procesos de los cambios nutritivos, bien que de la naturaleza íntima de esta influencia no sabemos nada. En el caso precedente se desarrollaban esbozos que ya se hallaban presentes; pero el resultado es muy semejante, cuando se trata de neoformaciones, pues entonces se conducen de distinta manera el vértice y la base de un órgano. Si se parte en dos mitades por un corte transversal un tubérculo de *Corydalis solida*, se originarán raíces en el plano del casquete superior y tallos en el del inferior, que estaba provisto de raíces (Goebel).

Todas estas investigaciones prueban que la simetría de las plantas, que nos parece obedecer a una finalidad, se realiza por cooperación de dos fuerzas: unas que proceden del protoplasma o fuerzas internas, desconocidas aún, y otras externas cuyos efectos conocemos mejor.

Los procesos de trasplantación nos descubren también aptitudes muy asombrosas de las plantas. La soldadura artificial de diversas partes de plantas es ya de antiguo conocida por la práctica de los injertos. La trasplantación se ha enriquecido en resultados científicos merced a los experimentos de Vöchting. Se consigue no sólo soldar otra vez trozos de tejidos extraídos de la remolacha sino unir órganos de una manera arbitraria muy apartada de sus conexiones naturales. Así, por ejemplo, Vöchting ha trasplantado un tallo sobre una raíz, una raíz sobre un tronco, una hoja sobre una raíz, obteniendo de esta manera formas artificiales en cierto modo. Es de especial interés el hecho de que si se sacan fragmentos de un órgano vegetal, por ejemplo, de una raíz carnosa, y se vuelven a colocar allí, pero en posición invertida, no cicatrizan; se resiste, en cierta manera, contra la orientación falsa que se le ha dado, produciendo llamativas excrecencias. Esto parece probar que no solamente a los órganos sino también a los tejidos y a sus células les corresponde una polaridad acentuada que, cuando hay alteraciones, busca su equilibrio, lo cual se manifiesta al exterior por estas formaciones monstruosas. Estos resultados han inducido a intentar reunir por trasplantación las propiedades de dos plantas distintas; es decir, probar a obtener individuos por el procedimiento del injerto. H. Winkler, por un método laborioso y no muy sencillo realmente, ha logrado obtener por injerto bastardos de *Solanum nigrum* (Hierba mora) y *Solanum lycopersicum* (Tomate). Después de la operación se for-

man yemas adventicias en el sitio de la soldadura de ambas plantas y en su formación toman parte células de los tejidos de las mismas. Estas formas de híbridos por injerto las denomina Winkler *quimeras*. Las quimeras ostentan caracteres de ambos padres unos junto a otros en las hojas, flores y frutos. Estas investigaciones vienen en apoyo de la idea de que es híbrido por injerto el *Cytisus adami*, notable caso de individuo doble ya de antiguo conocido.

Acción de las fuerzas en la planta

Como se desprende del análisis químico, las plantas están formadas por un cierto número de combinaciones de elementos químicos o cuerpos simples que dan a su cuerpo las propiedades de la materia. Pero lo que nosotros designamos con el nombre de vida no es nada material sino que son acciones de fuerzas, producción de trabajo, como también se puede llamarlas, que, como todas las acciones de fuerzas se ejercen sobre la materia sin que nos sea posible comprender bien esta trabazón. Pero el cambio de materia y el de energía van juntos; y, aun cuando la vida se puede denominar cambio de energía, este cambio está ligado al substrato protoplásmico que nos es conocido. Este substrato es esencialmente el que hace aparecer de una manera distinta a la del mundo inanimado, formas de energía que conocemos por otras manifestaciones de la Naturaleza. De las condiciones internas de este protoplasma no podemos hacernos ni siquiera una idea. Los químicos simbolizan con una fórmula cada compuesto químico, pero no hay ninguna para representar el protoplasma. Hay que admitir también que la estructura interna del protoplasma es distinta de la estructura química de subs-

tancias muertas; sobre este tema han sido emitidas una multitud de teorías que, con todo, dejan la cuestión principal sin resolver. Mientras no se conozca la estructura íntima del protoplasma no se podrán comprender tampoco sus funciones vitales; de la misma manera que sin el conocimiento de cómo funciona una máquina nos es imposible sospechar la clase de trabajo que puede producir. Seguimos los procesos vitales en una planta hasta que al final tropezamos siempre con la actividad del protoplasma, en donde tenemos que hacer alto. Se puede considerar ciertamente, el encorvamiento de una raíz por la acción de la gravedad o de la luz; se puede medir este encorvamiento por el tiempo que necesita para verificarse; pero la manera de obrar esas formas de energía sobre el protoplasma y cómo provocan el crecimiento de los tejidos estas acciones, no se puede saber con nuestros métodos de investigación. Así como la planta no produce ella misma sus sencillas materias nutritivas, anhídrido carbónico, agua y sales del suelo, sino que las toma del exterior y transforma en variadísimas maneras en el interior de sus tejidos llenos de protoplasma para devolverlos finalmente al exterior, de la misma manera no produce la planta ninguna clase de energía, algo que se parezca a una autoproducción de fuerza vital, sino que forma por el contrario la energía que posee el medio ambiente y la utiliza para la producción de trabajo. Ahora bien, sería un procedimiento muy deficiente el de que la planta se apoderase cada vez solamente de aquella cantidad de energía que necesitase por el momento, porque entonces su trabajo sería

muy desigual e inseguro. Las radiaciones solares son la fuente de energía de todo lo viviente; y como es bien sabido, se interrumpen periódicamente a causa del movimiento de la Tierra. Si las plantas sólo pudieran utilizar inmediatamente la energía de estas radiaciones, entonces tendrían que cesar también periódicamente las manifestaciones vitales; y, análogamente a una máquina de vapor a la que faltase el combustible, la planta cesaría por completo en su trabajo. Pero unos trabajos dependen de otros y, por consiguiente, el sistema se congestionaría, siendo imposible ver ya procesos constantes de desarrollo.

Ahora bien, la energía tiene la propiedad de poderse acumular de varias maneras para ser aprovechada como trabajo en tiempo oportuno, incluso cuando está interrumpida su afluencia directa. Esto es lo mismo que ocurre con un reloj cualquiera: al darle cuerda, ponemos en tensión el muelle; es decir, hemos almacenado energía para ser utilizada con lentitud y mantener mucho tiempo en marcha la maquinaria. También puede almacenarse energía en la composición de cuerpos químicos cuya desintegración la pondrá otra vez en libertad. Para mantener en marcha todo el mecanismo vital en las plantas, la primera tarea es la obtención de energía química, proceso que se llama vulgarmente alimentación o nutrición. Las plantas superiores emplean la energía solar en producir, con anhídrido carbónico y agua, azúcar y almidón, cuyo almacenamiento en diversos órganos es una propiedad importante de la planta.

La síntesis tiene lugar, en las plantas verdes, en la clorofila (aparato clorofílico), de cuya participación en dicho proceso no se sabe todavía nada en concreto, pero cuya presencia es una característica de todas las plantas superiores. Los cromatóforos (cuerpos clorofílicos) se componen de una armazón protoplasmática incolora y varias materias colorantes. La síntesis se efectúa probablemente en el estroma (armazón protoplasmática), y la materia verde clorofílica parece tener como papel el absorber el anhídrido carbónico del aire, puesto que 10 000 partes de aire contienen solamente 4 de CO_2 aproximadamente. Una vez formado azúcar o almidón en granitos sólidos, ya tiene la planta con ello un depósito de energía que puede hacer disponible otra vez por destrucción de los hidratos de carbono. Las plantas, merced a las reservas de almidón que forman en las hojas, están en situación de utilizar la energía química para sus producciones de trabajo, aun después de la desaparición temporal del Sol.

Esto se hace palpable por la emigración de los hidratos de carbono de las hojas. Durante el día, y a la luz, se produce almidón, una parte del cual se redissuelve por la acción de los enzimas y es conducido a los sitios donde ha de ser utilizado; pero puesto que durante el día es mayor el trabajo de síntesis que el de emigración del almidón, se podrá comprobar siempre a esas horas un exceso de éste en las hojas.

Esto se comprueba de una manera muy sencilla (reacción del yodo de Sachs). Se cortan por el día hojas,

por ejemplo de girasol, remolacha, etc., se las hierva durante 10 minutos en agua, se descoloran en alcohol y se ponen en agua a la que se añade algo de tintura de yodo. Según el contenido en almidón se colorean entonces las hojas desde azul hasta azul negruzco. Por la noche cesa la acción solar y con ella también la producción de almidón, mientras que su utilización para el crecimiento y otros procesos vitales continúa sin cesar. Por esto no puede amontonarse en las hojas un exceso de almidón y cuando probamos con el yodo, un poco antes de la salida del Sol, las encontramos completamente desprovistas de almidón; no se colorean de azul, sino de amarillo.

Es evidente que las hojas vacías pesarán menos que las llenas de almidón; y puede determinarse por pesada la magnitud de la producción de almidón en la superficie de la hoja provista de clorofila. El método consiste en recortar superficies idénticas de una hoja con almidón y otra sin él y, después de secas, comparar los pesos. Lo mejor es utilizar una plantilla de madera de 10 centímetros cuadrados de superficie o más pequeña con la cual se cortan en hojas grandes de una misma planta trozos hasta reunir en total un metro cuadrado de superficie. Con vapor de agua se matan y desecan los trozos y luego se pesan. Si determinamos estos pesos en seco por la mañana antes de la salida del Sol y por la tarde después del ocaso, deduciremos del aumento de peso la cantidad de almidón ganada en el día.

Según las investigaciones de Sachs, un metro cuadrado de hojas de girasol pesa

A las 5 de la mañana 43,62 gr.

A las 3 de la tarde 52,76 "

Aumento de almidón en 10 horas. 9,14 gr.

Es decir, que en una hora se forman 0,914 gramos de almidón por metro cuadrado de superficie foliar.

Ahora bien, hay que tener en cuenta que no solamente se produce emigración del almidón durante la noche, sino que también durante el día; al mismo tiempo que se forma de nuevo, hay una continua salida de almidón de las hojas. El peso de almidón que hemos obtenido es solamente el resto que ha quedado de la emigración diaria. La cuantía del almidón que pasa durante el día de las hojas a los otros órganos no se puede medir. Solamente puede asegurarse que por lo menos es tan elevada como la del que pasa por la noche. Por el procedimiento de la pesada se determinó que por la noche, de cada metro cuadrado de superficie foliar de girasol, salen por hora 0,964 gramos de almidón; y, puesto que se puede admitir la misma cantidad para las horas del día, resulta la suma total de almidón producido en 10 horas por metro cuadrado de superficie de hoja de girasol:

Almidón que puede determinarse por pesa-

da en la hoja 9,14 gr.

Almidón utilizado por la planta en el tiempo

dicho 9,64 "

Producción total en 10 horas 18,78 gr.

En quince horas del día estival en Alemania se producirán 28,17 gramos de almidón por metro cuadrado de superficie, a lo que hay que añadir todavía un gramo, que es lo que viene a perder la planta por la respiración en el mismo tiempo y por metro cuadrado de superficie. La cantidad de almidón formado no es igual en todas las plantas, a consecuencia de la distinta constitución de las hojas y de su diferente riqueza en clorofila. Por tanto, se ha adoptado como media de la producción de almidón por metro cuadrado de superficie foliar 1,6 gramos por hora o 25 gramos diarios.

Por los procesos que siguen a la producción de almidón, transformaciones y descomposición de las materias resultantes que se designan con el nombre de cambios de la materia, se obtiene de varias maneras energía que hace posible la producción de trabajo. Pero no sabemos cómo se cambia la energía química en trabajo mecánico, porque se trata nuevamente de procesos que se realizan en el protoplasma. La respiración es, sin duda, uno de los procesos más importantes por los que se obtienen energías. Con todo no es ésta la única fuente de energía para los procesos vitales de la planta. Prescindiendo de la fotosíntesis, hay todavía otros fenómenos que no dependen tampoco de la respiración, como la transpiración, fenómenos osmóticos, etc.

La importancia de los cambios materiales como fuentes de energía resalta de la comparación con cuerpos inanimados. Tomemos un cristal de alumbre y coloquémoslo en una solución de la misma substancia. El cristal toma nuevas cantidades de materia que se deposi-

tan sobre él, y así aumenta de tamaño. Este proceso lo podríamos comparar con la nutrición y crecimiento; únicamente, que el cristal permanece siempre el mismo; no hay ningún cambio de sustancias ni encontramos tampoco en él manifestaciones vitales, ni produce fuera de sí otras formas externas (órganos) ni puede reproducirse originando nuevos cristales independientes. De aquí se deduce que, para el conocimiento de los procesos fisiológicos, no pueden darnos ninguna pauta las modernas observaciones de los mineralogistas sobre los llamados cristales vivientes. La pretendida semejanza externa con ciertas formas de crecimiento de vegetales, es asimismo simple apariencia superficial, como una copia hecha por un artista. Reconocemos en los cambios materiales, en la desmembración de las sustancias alimenticias absorbidas o formadas por el mismo organismo, un manantial de fuerzas activas de que arranca la vida. Todos los fenómenos vitales dependen mediata o inmediatamente de la entrada de alimentos y de los cambios materiales. En este sentido no constituyen excepción las plantas desprovistas de clorofila de las que la poseen, puesto que también aquellas introducen con el alimento un mismo origen de energías que éstas, las cuales se procuran el alimento sintetizándolo ellas mismas.

Si buscamos a nuestro alrededor orígenes de energía de alguna importancia, encontraremos en primer lugar fuera de los cambios materiales y la respiración, el calor. A la planta afluyen además de los rayos luminosos, gran cantidad de radiaciones caloríficas del Sol en las

épocas favorables y en determinadas zonas climáticas; pero, en realidad, puede decirse que no sabemos nada referente a si este calor se aprovecha para producir trabajo. Como es sabido, las plantas se encuentran frías aun bajo los rayos solares porque se refrescan por medio de la transpiración; pero aun cuando se calienten notablemente, como ocurre en los terrenos desérticos, cabe preguntar si este calor se transforma en algún trabajo. En los procesos del metabolismo de la planta también hay desprendimiento de calor, y el producido por la respiración es de tal importancia, que puede medirse. Este desprendimiento de calor nos induce a pensar que no es aprovechable como productor de actividad en la planta, sin que sea prueba en su favor el que la mayoría de los actos vitales necesitan una cierta temperatura para que se realicen en las mejores circunstancias, como es bien sabido.

Acciones energéticas se presentan, acentuadísimas, en el crecimiento de la planta. No está explicado ni con mucho, todavía, cómo ocurre el crecimiento de las células y a consecuencia de éste el de los órganos; con todo, es muy verosímil que coopere o esté encauzado por fuerzas osmóticas cuyo efecto en la célula se llama *turgescencia*. El crecimiento es, sin duda alguna, un fenómeno vital en que domina completamente el protoplasma, puesto que en sitios adonde no llega el oxígeno y la vida se retarda, cesa el crecimiento a pesar de continuar la presión osmótica. No puede ser, por tanto, la causa del crecimiento exclusivamente mecánica, por lo cual es muy difícil ya poder presentar una teoría sa-

tisfactoria del crecimiento. Es esencial para el crecimiento de una célula, cualquiera que sea su forma, el aumento de dimensiones de la membrana que limita su volumen. Podemos suponer que el crecimiento de la membrana, al cual acompaña un aumento de la cavidad de la célula, tal vez debido primeramente a una disminución de la cohesión de la membrana, causada por el protoplasma, que le da elasticidad. Luego viene una presión osmótica que la dilata ahora con facilidad, y en este grado de distensión se queda fija por intercalación de nuevas moléculas o micelas celulósicas suministradas por el protoplasma. La célula crece de esta manera y, cuando el proceso alcanza complejos celulares, es decir, tejidos u órganos, también se alterarán éstos en conjunto por el crecimiento de las células. En este fenómeno, por lo menos aparentemente, no tomaría parte, por consiguiente, la energía química.

Es una gran laguna en nuestros conocimientos la que se deriva de la renuncia total a un examen crítico de las acciones energéticas que deben tomar parte en la elevación del agua en los árboles. Las acciones de la llamada presión radicular, de la presión externa del aire, de la capilaridad y de la imbibición de las paredes celulares, que antes se tomaban en consideración, pueden influir tan poco como la supuesta colaboración de elementos celulares del leño, que son hechos todavía no bien estudiados.

El transporte de las sustancias alimenticias, que también exige empleo de energía, está poco aclarado, no obstante tener lugar continuamente una emigración

de sustancias en los tejidos vegetales, como se demuestra por el hecho de que la formación de dichas sustancias tiene lugar en sitios distintos de aquellos en que se encuentran más tarde. Aun cuando los cambios materiales a través de la membrana celular y de la plasmática están comprobados, especialmente desde las investigaciones de Pfeffer sobre la entrada de los colores de anilina en las células, y aun cuando aquí obran por todas partes acciones osmóticas, han sido poco explicados por el lado energético, en particular el transporte de los hidratos de carbono, de los albuminoides y de otras sustancias vegetales.

Es fácil hacer resaltar, por diversos hechos sorprendentes, que las plantas ejercen en el mundo exterior considerables acciones energéticas.

Si una raíz entra en un suelo firme, tiene que vencer una resistencia muy considerable. Ha de empujar las partículas de tierra lateralmente, esfuerzo que, cuando se trata de un suelo arenoso y suelto, es algo más sencillo que cuando el suelo es arcilloso y de gran cohesión. La raíz produce un trabajo no solamente al crecer, sino también al vencer la resistencia del medio. Se comprende que este trabajo no está desprovisto de importancia, por el hecho de que una raicilla de judía en germinación puede crecer sumergida en mercurio, el cual es 13 veces y media más pesado que el agua, peso que tiene que vencer la raíz. Se puede conseguir que una raicilla levante un peso, haciendo que crezca dentro de un dedalito unido a un hilo que pasa por una rueda y en cuyo extremo se colocan pesas peque-

ñas. Se ha experimentado el crecimiento de la raíz en cubitos de arcilla plástica desecada en la cual lograban meter su punta las raicillas en crecimiento. Para comparar el trabajo producido se ha empleado una varilla de hierro de forma semejante a la raíz, a la cual había falta añadir una carga de 100 a 115 y a veces de 120 a 140 gramos para conseguir vencer la resistencia de la arcilla. Según esto la delicada raicilla puede vencer análoga resistencia, que ya es de relativa importancia.

Naturalmente que la facultad de actuar de este modo se mantiene dentro de ciertos límites, pues si la resistencia es demasiado grande no puede ya vencerla y cesa de crecer la raíz. Sin embargo, contra tales resistencias es capaz la raíz de aumentar más y más la presión hasta cierto grado. Esta energía la suministra principalmente la turgescencia, que hace aumentar el volumen de los tejidos y con él crece también la acción compresora. Una raíz puede también bordear, incurvándose por crecimiento desigual, cualquier obstáculo que se le oponga en el suelo; pero cuando no lo puede conseguir sobrevienen siempre presiones que remueven el obstáculo. También puede ejercer la raíz presión lateral por crecimiento en espesor, lo cual conduce a quebrantar la resistencia, como puede observarse enyesando raicillas de plantas en germinación. La figura 33 representa un alerce cuya raíz ha resquebrajado un bloque de piedra. Uno de los trozos de la roca, que pesaba aproximadamente 1400 kg., había sido levantado por la raíz a 30 cm. de altura.

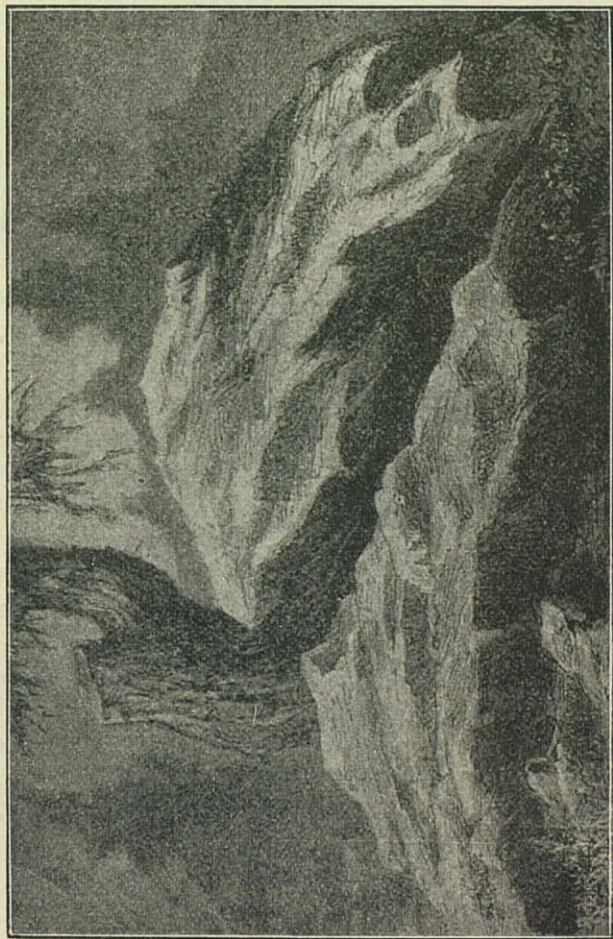


FIG. 33. Levantamiento de un bloque de roca por la presión de una raíz de alerce en crecimiento (según KERNER)

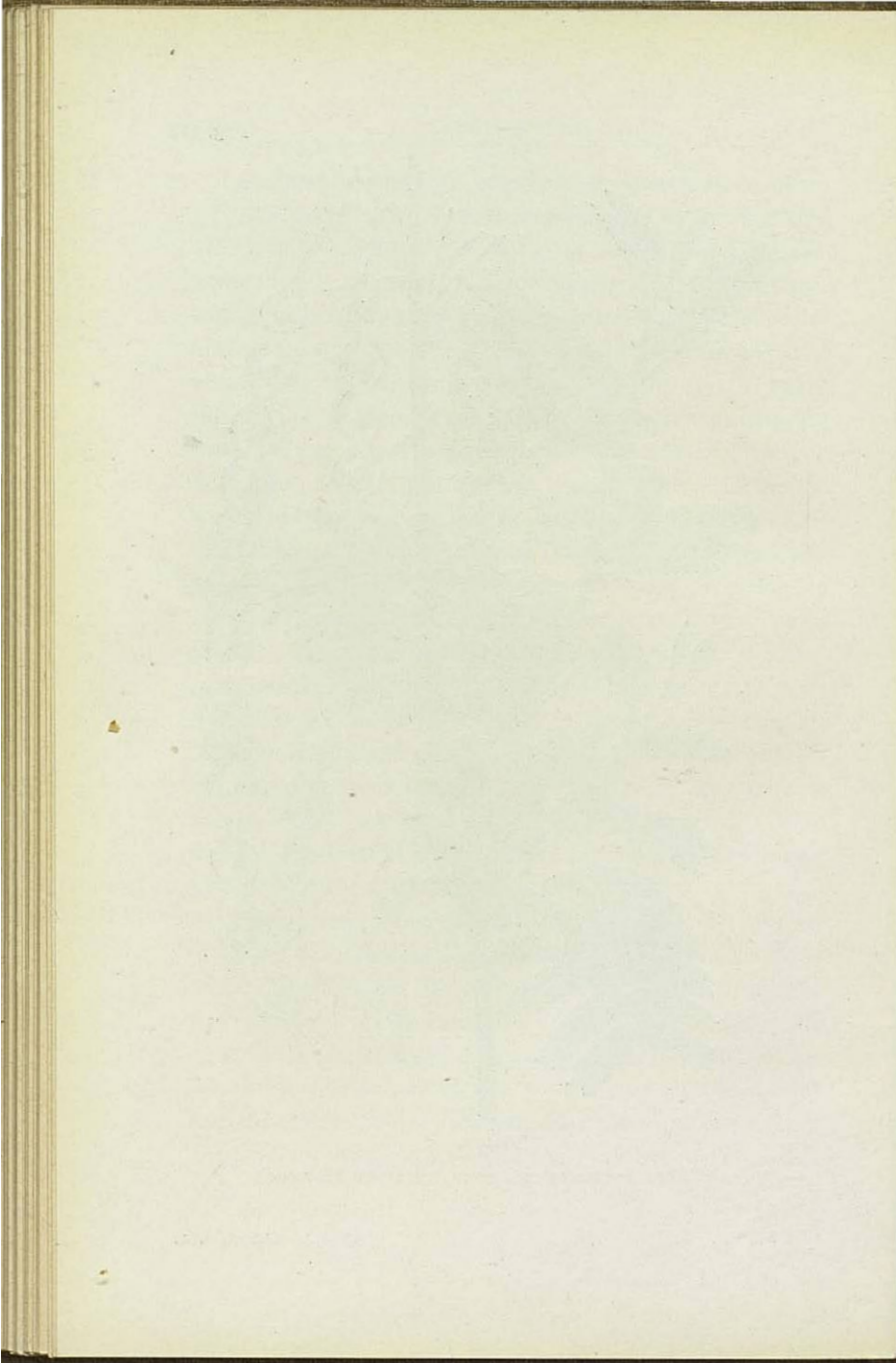
Lo dicho es bastante para probar que toda la energía que actúa en la planta procede del exterior y que sólo puede ser transformada otra vez en modalidades conocidas de energía. Hay que descartar que de la energía introducida en la planta, resulta una forma especial y desconocida que se ha llamado fuerza vital. Tal suposición ha nacido seguramente en su mayor parte de que en el organismo vegetal el curso finalista de todos los procesos vitales está guiado, según se dice, por una "autorregulación". Para esta autorregulación se ha creído necesario suponer una fuerza interna especial. Pero nosotros conocemos también en nuestras máquinas, análogas autorregulaciones que no proceden de otra cosa sino de que ciertos movimientos mecánicos al llegar a determinada intensidad disparan otros antagónicos. En la máquina ocurre esto, solamente en virtud de la acción de las mismas fuerzas que ejecutan su trabajo. El funcionamiento de los estomas colocados en las hojas y otros órganos que cuidan de los cambios gaseosos, nos presenta un clarísimo ejemplo de cómo pueden explicarse las llamadas autorregulaciones por causas puramente mecánicas.

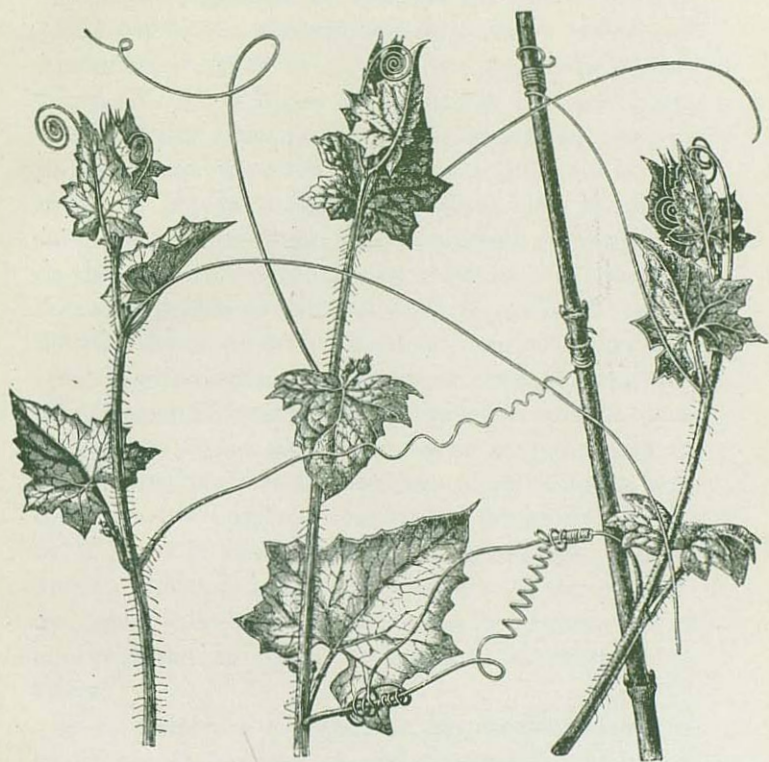
Los estomas deben abrirse en las horas del día en que hay una iluminación intensa, que es cuando tiene lugar la absorción de anhídrido carbónico necesario para la síntesis del almidón, y la salida del vapor de agua de la transpiración. En efecto, así lo hacen los estomas: se abren por el día y se cierran al oscurecer cuando cesan los procesos citados. Esto que a primera vista parece una autorregulación finalista inexplicable



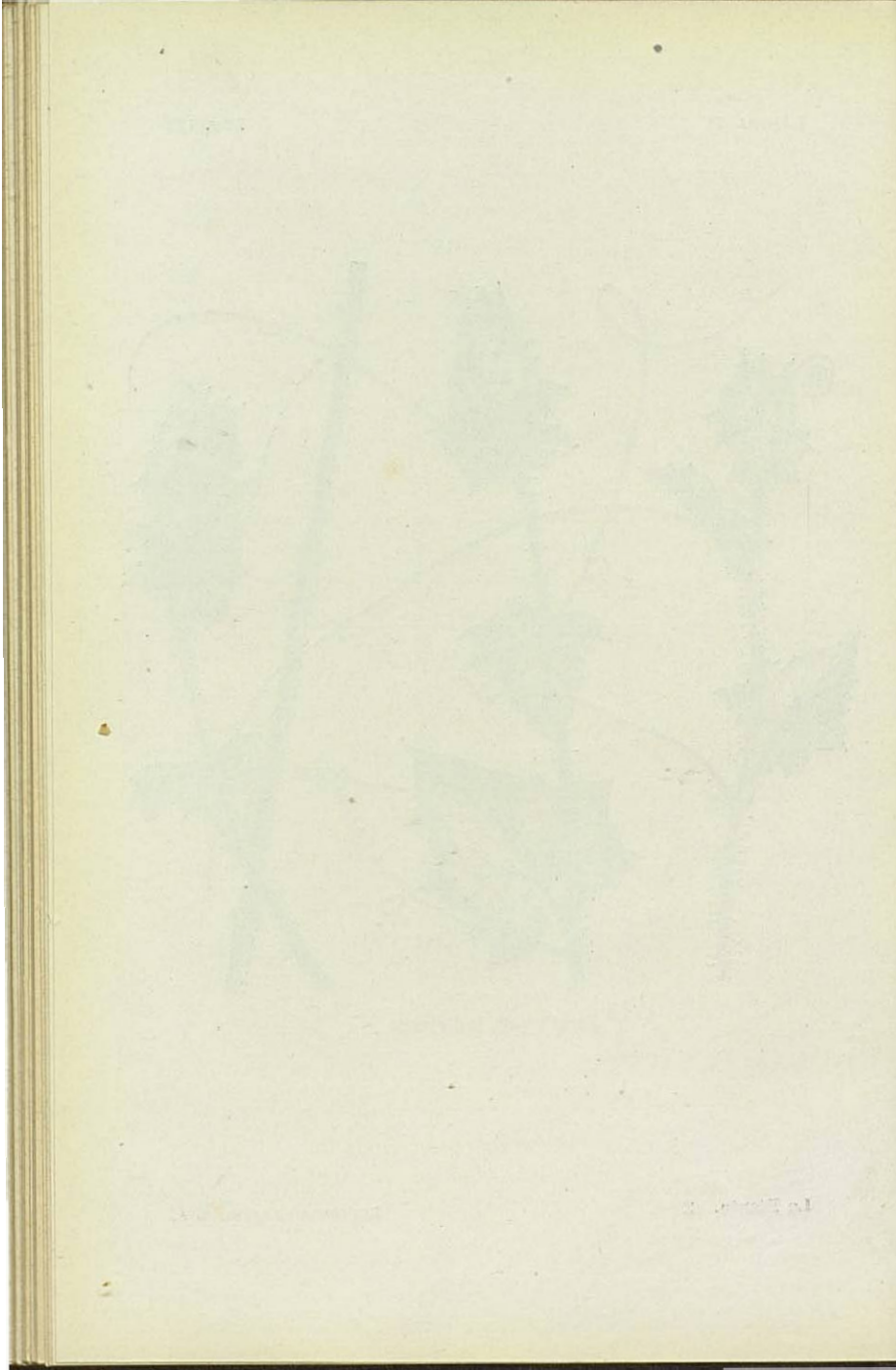
Mimosa

Del libro *Farmacognosia de la Schule der Pharmacie*





Zarcillos de la Bryonia



se realiza mecánicamente de la siguiente manera: los estomas al igual que el tejido subyacente clorofílico, poseen algunos granitos de clorofila que entran en actividad con la luz. Cuando una hoja recibe radiaciones luminosas, empieza al momento la acción de síntesis provocada por la luz en las células de cierre. Por síntesis se forma azúcar que aumenta la presión osmótica de las células de cierre, y en éstas se aumenta la turgescencia por la presión hidrostática, con la que el estoma cambia de forma, se abre y asegura así la entrada del anhídrido carbónico en el parénquima asimilador a su debido tiempo. Al cesar la acción de la luz del día, deben cerrarse los estomas, no solamente por cesar la asimilación sino porque la transpiración, que está relacionada con aquélla, debe cesar también para no originar alguna acción secundaria perjudicial. A su vez las células de cierre obedecen al mandato de procesos internos puramente mecánicos del modo siguiente: al cesar la producción propia del azúcar, baja la presión osmótica de la célula de cierre, y por esto ceden agua a las células epidérmicas contiguas, con lo que recobran su primitiva forma y la abertura se cierra.

Si no hubiera sido estudiada tan concienzudamente la manera de funcionar de los estomas, su trabajo en colaboración con el parénquima asimilador, cuyas actividades son muy distintas de las de ellos, tan ajustado y objetivo, nos podría parecer fruto de fuerzas vitales enigmáticas.

Aun cuando no todas las autorregulaciones de los organismos pueden explicarse mecánicamente, estriba esto en la complejidad del aparato orgánico, infinitamente mayor que la de una máquina. Todos los fenómenos que se realizan en el organismo paralela y sucesivamente sólo pueden tener una clase de conexiones causales y no están sometidos a una fuerza vital oculta. El conjunto de las trabazones energéticas escondidas en el protoplasma se denomina provisionalmente *complejo interno de fuerzas*, con lo cual se quiere significar una cantidad desconocida pero no heterogénea. Tampoco es imprescindible conocer todas las relaciones moleculares para comprender muchos fenómenos fisiológicos, porque en muchos casos bastan por el momento representaciones teóricas, como pasa en Química, en donde se renuncia a la pretensión de ver los movimientos moleculares y sin embargo se tiene el poder de separar los compuestos químicos.



Los procesos de la excitación

Según se desprende de lo dicho, las modalidades de la energía que actúan en la planta no son muy variadas. De aquí podría esperarse la consecuencia de que también las producciones de trabajo deben ser en la planta sencillas y concordantes. Pero no es éste el caso, y la causa de esta diversidad estriba en la infinita variación de las condiciones de forma en la planta. La clase de trabajo depende en efecto de la estructura sobre la que actúe. En las máquinas ocurre algo análogo, ya que con la misma tensión de un muelle puede andar un reloj, se puede determinar un peso, o disparar un tiro; así resultan ser de nuevo la parte más importante de la ciencia de la vida las condiciones estructurales de las plantas y sus órganos después del conocimiento general de las fuerzas que sobre ellas actúan.

Puede haber, con todo, condiciones de forma y energía sin que aparezca ningún fenómeno vital. Una semilla seca contiene en su germen, constituido por raíz y cotiledones o en su endospermo, sustancias nutritivas en las que se halla almacenada en cantidad la energía química sin que dé ninguna muestra de vida si se deja en un sitio seco durante muchos años. Es lo mismo que

una bala colocada sobre la mesa; posee forma sólida y la energía de la posición no presenta ninguna variación. Para que pueda producir trabajo, necesitamos comunicarle impulso por medio de un choque, después del cual la bala actúa inmediatamente. También en una máquina provista de combustible hay forma y energía, pero si no se calienta la caldera o no se da la vuelta a la llave que permite el paso del vapor a los cilindros, no se pone en movimiento. En la máquina llamamos mecanismo de arranque al dispositivo para la puesta en marcha.

Esta "puesta en marcha" se consigue en las plantas por medio de los llamados *estímulos*. La planta sólo puede mostrar fenómenos vitales, después de actuar estos estímulos, y al presentarse, lo hacen, en cierta manera, como tendiendo a un fin utilitario. La excitabilidad reemplaza en las plantas a la inteligencia que poseen los animales, con excepción de los más sencillos. Los animales obran por un motivo, es decir, tienen una capacidad de representación ligada a un cerebro y sistema nervioso en todos los grados de perfeccionamiento y sólo reaccionan por los excitantes, como hacen las plantas, en determinados casos. En las plantas la reacción sólo se produce mediante un excitante y otro tanto sucede en los organismos zoológicos inferiores en los cuales desaparece ya toda línea divisoria entre animal y planta.

Esta concepción fué defendida de un modo preciso por Schopenhauer en varios pasajes de sus obras, por ejemplo, en la Memoria sobre "La libertad de la vo-

luntad humana". Dice allí: "Mientras la vida de los animales tiene todavía una esfera de acción completamente distinta, la de las plantas se desenvuelve exclusivamente en virtud de excitaciones. La asimilación, el crecimiento, la tendencia de la corola hacia la luz, la de la raíz hacia mejor suelo, la reproducción, la germinación, etc., son alteraciones causadas por excitantes." Este concepto que Schopenhauer aún aclara con más minuciosidad ha sido incorporado por Sachs a su fisiología sin añadir nada nuevo. Schopenhauer ha indicado con toda clase de pormenores la característica del proceso de la excitación que consiste en que la reacción no está en correspondencia con la naturaleza de la acción del excitante, y por lo que respecta a la intensidad del excitante y de la acción se ve que no guardan ninguna proporción. Así, por ejemplo, un choque determina en los órganos motores de la Mimosa pudica tales encorvamientos que hacen juntarse las foliolas por pares y que el raquis se incline hacia abajo. (Lámina III.)

En la Brionia, por simple contacto con una varilla, se excitan los zarcillos, y como consecuencia, se arrojan a su alrededor. (Lámina IV.) En ambos casos puede ser muy pequeña la intensidad del contacto, pero los movimientos son mucho más importantes de lo que se podía sospechar. Hay tal falta de proporción entre la excitación y sus efectos que, como ha hecho notar muy bien Schopenhauer, un aumento del excitante no conduce siempre al aumento de la acción sino que a menudo pasa lo contrario. En este aspecto se han com-

parado los procesos de la excitación con algunos fenómenos físicos y químicos; por ejemplo, con la explosión del yoduro de nitrógeno al menor contacto con las barbas de una pluma. Pero apenas se hacen algo más comprensibles con tales comparaciones, porque en los seres vivos estos fenómenos ocurren en la intimidad del protoplasma, y el desconocimiento de su composición no nos permite pasar adelante. Se han calificado de excitantes *externos* la gravedad, la luz, la humedad, etc.; y se llaman *internos* a los excitantes que actúan en el protoplasma y que producen los llamados movimientos espontáneos. En realidad, los excitantes internos son sencillamente energía potencial que se forma en las células y los excitantes externos no son más que los causantes del nacimiento de tales potenciales. Frecuentemente se quiere desmembrar todavía más la excitación suponiendo unida la causa con el fenómeno por una serie de efectos que los enlazan como una cadena.

Se considera aparte la percepción de la excitación por un órgano y se nota un transcurso de tiempo desde la entrada a la actuación del excitante. La excitación es sentida o recibida de manera desconocida por las células que constituyen el órgano y entonces actúa todavía frecuentemente un cierto tiempo aunque la causa cese. Así, por ejemplo, un vástago colocado horizontalmente se encorva todavía geotrópicamente cuando se le vuelve a la posición normal antes de que empiece el encorvamiento, si ha sido expuesto un cierto tiempo a la acción de la gravedad. Es muy interesante también la propagación de una excitación a mayores distancias,

como, por ejemplo, si excitamos el extremo de un zarcillo por contacto, no sólo se enrolla la parte irritada, pudiendo eventualmente fijarse a un apoyo, sino que también el trozo no tocado que hay entre el arranque del zarcillo y el de fijación, sufre más tarde una torsión a consecuencia de la cual se convierte en un muelle espiral.

Modernamente se ha intentado establecer analogías entre los efectos de la excitación y la vida sensitiva de los animales; pero tales semejanzas sólo ofrecen un serio peligro de conducir por falsos derroteros.

El hecho de que haya algunas plantas que poseen dispositivos anatómicos visibles para la recepción de ciertas excitaciones, como, por ejemplo, las puntuaciones táctiles de los zarcillos, no justifica el hablar de órganos de los sentidos en las plantas. Todos los órganos sensoriales de los animales son aparatos periféricos dependientes de uno central al que están subordinados.

En las plantas no hay nada análogo. No sería justo comparar la busca de los alimentos para la planta, es decir, la llamada facultad electiva de las plantas, con el olfato y gusto de los animales; como no lo sería confundir la posición erguida del hombre con el geotropismo de las plantas, ya que un hombre puede pasar toda su vida echado sin que note que la excitación de la fuerza de la gravedad le haga levantarse. Entre geotropismo y voluntad no hay ninguna clase de tránsito que justifique una comparación. Y así ocurre con todo.

Al huir de la luz un animal para protegerse de sus enemigos no muestra ninguna analogía con el heliotropismo vegetativo, y así sucesivamente,

Además, la planta no obedece a grados de intensidad absolutos sino que sus movimientos están regulados por diferencias de intensidad. Un hombre busca la luz para poder distinguir los objetos; la planta positivamente heliotrópica estaría obligada por la luz a buscarla siempre si un lado está más iluminado que otro. En los órganos heliotrópicos negativos es a la inversa.

Sería impropio y prematuro querer explicar los movimientos producidos por excitación o paratónicos, difíciles de analizar, por los fenómenos todavía más difíciles de entender de la vida sensitiva y psíquica de los animales.

Reproducción

Lo que pone en mayor y más acentuada oposición todos los organismos con un mecanismo, es la facultad de los seres vivos de producir otros iguales, en una palabra, de reproducirse. En este particular no tienen las plantas un sitio aparte entre los demás seres; antes bien en cuanto a medios y forma de reproducción es como más se aproximan a los animales. Las plantas también producen células especiales para los fines de la reproducción (células germinales). Se conocen dos clases de células germinales: unas, que después de separarse de la planta se desarrollan con sólo absorber alimentos y agua; otras, que necesitan antes unirse con otra célula y sin esta fusión, aunque se cumplan las demás condiciones de vida, no pueden experimentar ningún desarrollo. Esta última clase de reproducción se llama sexuada o reproducción *sexual*, y ambas células, la una *masculina* y la otra *femenina*. Mientras que el desarrollo de una célula asexual se inicia por simple alimentación, la reproducción sexuada encierra el gran enigma de que hasta que una cantidad apenas perceptible de materia no se añade a la célula femenina en el momento de juntarse la célula masculina, no se inicia el desarrollo.

Se puede considerar este proceso como la adquisición de un potencial de energía; así y todo, es completamente inexplicable hasta ahora, cómo por su causa tienen lugar los más variados procesos que conducen a la creación de un embrión bien organizado: división celular, formación de membranas y crecimiento.

Las células germinales asexuales se llaman abreviadamente *esporas*. Las esporas de los hongos y de las algas que viven en el agua son móviles (zoosporas); las de los vegetales que se desarrollan sobre la tierra, inmóviles (esporas o conidios). Las células sexuales tienen en algunos casos la misma forma y tamaño (gametos), como ocurre en algunos grupos de hongos y unas pocas algas; pero ya hay muchas algas en que se encuentran transiciones hacia una diversidad de formas de la célula germinal masculina y la femenina, las cuales se pueden distinguir entonces con facilidad.

La célula femenina, llamada también *oosfera* u *ovocélula*, es normalmente mayor y más rica en sustancias de reserva que la masculina (espermatozoide); ésta es un cuerpecito protoplasmático a menudo muy pequeño. Por ejemplo, en el *Fucus serratus*, las células femeninas tienen una masa de 30 a 60 000 veces mayor que las masculinas. Al mismo tiempo son ambas muy pequeñas; los espermatozoides tienen 5 micras de longitud; los óvulos de 80 a 100 micras de grueso. El óvulo es por lo común pasivo y permanece quieto en el sitio en que se forma (casualmente el *Fucus* es una excepción). Las células sexuales masculinas tienen que ser aproximadas de alguna manera al óvulo. Las criptóga-

mas que viven en el agua o en sitios temporalmente mojados, tienen células sexuales masculinas dotadas de movilidad y nadan hasta alcanzar la oosfera. Reciben el nombre de *espermatozoides* por analogía con las células sexuales masculinas de los animales, a las que se parecen en la forma.

Cuando las células sexuales masculinas son inmóviles, como ocurre en las florídeas o algas rojas, son llevadas a las femeninas por las corrientes de agua. En las fanerógamas o plantas con flores en que los granos de polen no poseen tampoco ningún movimiento, acuden en su ayuda los insectos o el viento para asegurar su transporte hasta los órganos femeninos. Por tanto, la forma de los órganos sexuales y de las células germinales depende del género de vida de las diversas formas vegetales, aunque no es esta circunstancia la única determinante, puesto que ya en el grupo de las algas encontramos una diversidad enorme de formas de los órganos reproductores, a pesar de tener idéntico género de vida.

En las criptógamas inferiores el óvulo fecundado (huevo u oospora) permanece un cierto tiempo en reposo antes de desarrollarse (espora de invierno) antes de lo cual se desprende de la planta para constituir una nueva individualidad. En los ascomicetos y florídeas, por el contrario, ocurre algo muy particular, porque a consecuencia de la fecundación se provoca una multiplicación del huevo que conduce a la formación de un esporangio o carposporangio en el cual se producen esporas sólo por vía asexual (Ascosporas, Carpospo-

ras). Éste es el primer paso hacia un fenómeno muy notable de la reproducción que se conoce con el nombre de *generación alternante* y que alcanza su mayor desarrollo en los musgos y los helechos, pero que en las plantas con flores vuelve a desaparecer. En los helechos y musgos es donde puede observarse con más facilidad el cambio de una generación que produce esporas o esporofito y otra sexual o gametofito.

Ahora bien, si de las esporas asexuales se originan las mismas formas de plantas que por la unión de células germinales sexuadas, se pregunta uno qué provecho puede reportar la sexualidad junto a la cual se conserva en muchas plantas la reproducción asexual. No se puede dar una respuesta terminante; pero es un hecho, que por la unión de dos células germinales, se reúnen también las propiedades de dos individuos distintos.

También se producen a menudo cruzamientos entre las criptógamas. En las fanerógamas es la regla general. Según opinión de algunos investigadores, la sexualidad tiene por efecto la nivelación periódica de propiedades específicas e impide una variación ilimitada. Según otras opiniones, es lo contrario; dominan las nuevas propiedades específicas precisamente a consecuencia de la fecundación; y ciertamente, bien podría ocurrir esto con la fecundación de *especies distintas*, en la aparición de híbridos. Es palpable la nivelación de propiedades en las diatomeas. En estas plantas ocurre que por división continua se llega a individuos cada vez más pequeños, mientras que el acto sexual conduce a

la formación de ejemplares mayores. El cultivo de las plantas atestigua el hecho de que por fecundación pueden aparecer nuevas propiedades.

Además, hay que añadir tal vez, que el producto de la sexualidad puede permanecer generalmente mucho tiempo en reposo sin perjuicio, como se ve en las semillas que no pierden la facultad de germinar y también en el huevo de ciertas criptógamas, mientras que las células germinales asexuales u órganos de reproducción vegetativa tienen que continuar inmediatamente su desarrollo. Seguramente que en el reino vegetal apareció antes la reproducción asexual, porque en los tramos inferiores de plantas no se encuentra la sexual todavía. Generalmente se considera como principio de la sexualidad el apareamiento de dos gametos móviles de ciertas algas; pero no nos podemos formar una idea clara de la forma cómo se realizó el progresivo desarrollo de este proceso. No se puede decidir si este apareamiento fué puramente casual o ya en un principio era necesario, como ciertamente lo es hoy. Después de haberse operado esta fusión bien podía aparecer entonces la diferencia de forma de ambas células germinales como consecuencia de una adaptación. No es con todo muy verosímil que la sexualidad se haya originado en el transcurso de un desarrollo filogenético único desde las algas hasta las fanerógamas, sino que es más probable que haya aparecido independientemente en varios tipos de organización. De aquí surge la duda de si los arquegonios de los helechos y musgos son sencillas transformaciones de los oogonios de las algas o han

aparecido independientemente. Las flores de las plantas superiores son grupos de esporófilos derivados de sus análogos en los helechos superiores, como es bien patente en las gimnospermas, mientras que cuesta trabajo reconocerlo en las plantas con flores propiamente dichas. Probablemente procede la singular organización de las flores hermafroditas de una inflorescencia con flores de ambos sexos (Wettstein).

La reproducción como uno de los procesos vitales más enigmáticos, puede inducir más que ninguno a la suposición de una fuerza superficial que actúa en los organismos; fuerza vital, apreciación heredada de tiempos pretéritos y que actualmente ha recobrado su crédito entre unos cuantos investigadores.

Aunque los adversarios de esta teoría se dan cuenta de que sus investigaciones sobre las *acciones de fuerzas* están todavía en mantillas, sin embargo hacen presagiar ya que hoy, lo mismo que antes, el caminar por la senda del vitalismo es desviarse de la Ciencia. Precisamente la reproducción se consideraba en otros tiempos como una exteriorización de recursos íntimos de la planta, y sin embargo Klebs demostró la dependencia de la aparición de los órganos reproductivos sexuales o asexuales y de sus células germinales en algas y hongos, provocando a voluntad cambios de las condiciones externas: luz, alimentación y temperatura. La influencia de la luz en la iniciación del desarrollo fué observada por Stahl en las esporas de *Equisetum* y por Winkler en los huevos de *Cytoseira* (alga marina). Para el conocimiento de los procesos de la fecundación en los reinos

vegetal y animal hay que tener en cuenta los trabajos de Loeb, Delage y Winkler, de los cuales se desprende la posibilidad del desarrollo de los huevos de equinodermos y gusanos sin fecundación. Esto se consigue por tratamiento adecuado con disoluciones salinas y otros excitantes; Mathews provocó el desarrollo de los huevos de estrella de mar hasta estados larvarios por impulsos mecánicos, agitándolos ligeramente, por ejemplo.

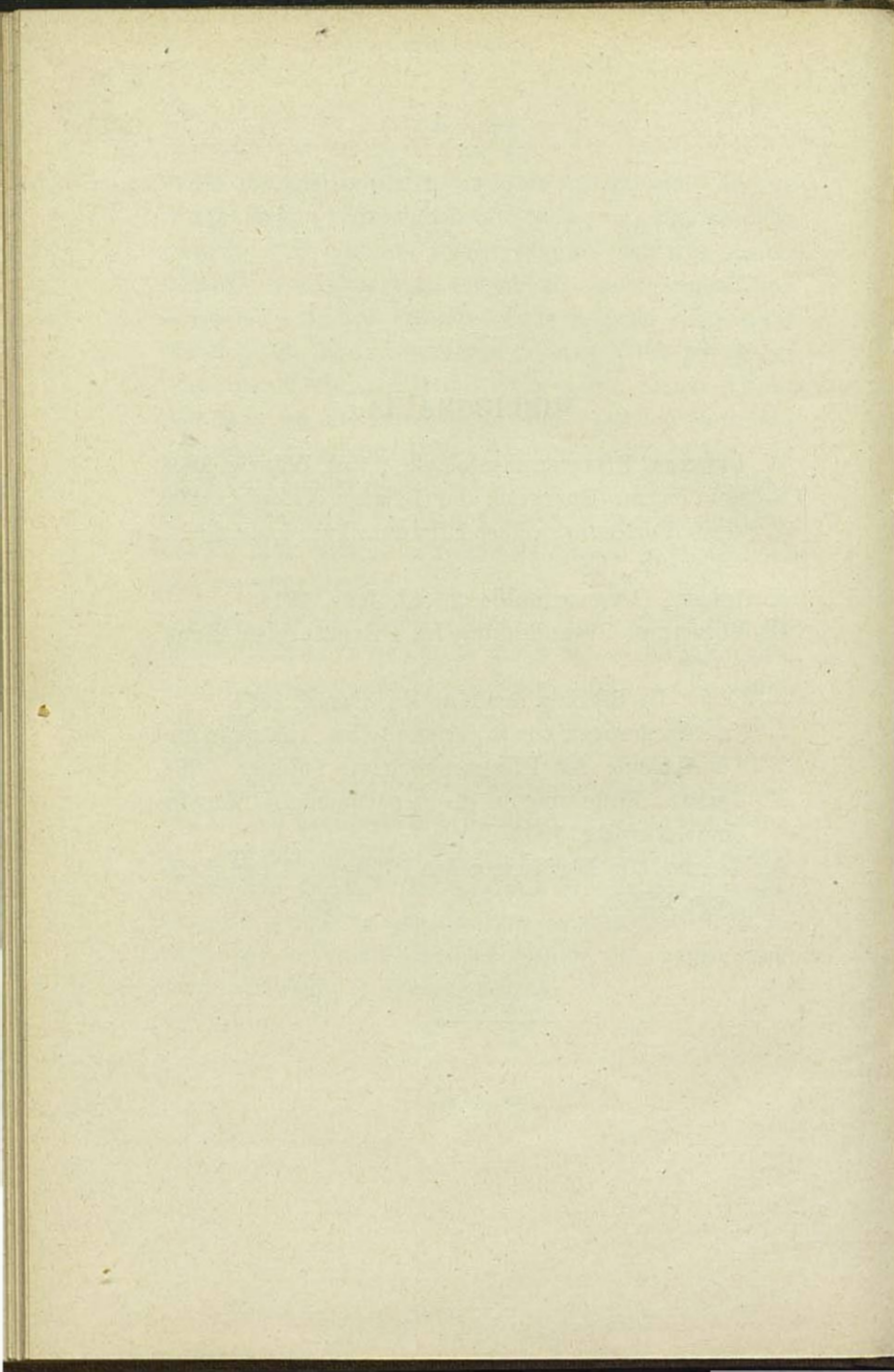
Tales resultados obligan a considerar la vida como un tráfico de energías que se realiza en el aparato celular del organismo y a investigar con esta base. Puesto que la acción de modalidades conocidas de la energía está comprobada y generalmente reconocida en muchos procesos, sería una contradicción admitir que si bien la nutrición y el crecimiento son actos energéticos, los procesos del *cambio de substancias* y de la *conformación*, ambos íntimamente ligados con los anteriores, están regulados por una fuerza vital propia del protoplasma, o, lo que todavía es más desconcertante, suponerlos dirigidos en la planta por medio de procesos psíquicos. En época reciente, se ha intentado explicar la herencia y el modelado de las formas por una "memoria" del protoplasma. Pero como el problema de la memoria es por sí mismo un problema por resolver todavía, es por el momento una palabra que designa simplemente un concepto, siendo irreflexivo querer aclarar procesos energéticos con un mero concepto. La memoria es una actividad, una función del cerebro. Aparecen de manera inexplicable imágenes que pueden llegar a ser el motivo de actos, pero jamás ha oído decir

nadie que por simple recuerdo de un edificio o de una estatua hayan podido crearse ésta o aquél. Algo así debe pasarles a las plantas, puesto que no tienen la posibilidad de transformar su memoria en actos reales. Con la hipótesis de una memoria de la materia viva de las plantas, van ligadas multitud de cuestiones, por ejemplo: ¿En dónde está la memoria si una planta a consecuencia de alteración en la iluminación o humedad presenta variaciones intensas? Al parecer, la luz y la humedad habrían de influir en este caso de tal manera en la memoria de la planta que ocasionaran una amnesia y ésta sería la causante de que no se continuara la forma heredada.

Estas nuevas concepciones son poco científicas indudablemente, ya que no se puede saber absolutamente nada de las propiedades psíquicas de las plantas, y además son antifilosóficas. Kant y Schopenhauer, han rechazado la intervención en las plantas de fuerzas vitales confusas (vitalismo) y las manifestaciones psíquicas. Lo que Schopenhauer llama voluntad no es ni fuerza vital ni psiquismo. Por muy unilateral que sea la afirmación de Kant de que una ciencia natural sólo tiene de ciencia lo que encierra de matemática, es seguro que solamente contiene ciencia en cuanto tiene como postulado la crítica racional.

BIBLIOGRAFÍA

- W. PFEFFER, Pflanzenphysiologie. 2.^a ed. Leipzig, 1904.
— Studien zur Energetik der Pflanze. Leipzig, 1892.
J. SACHS, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 2.^a ed.
Leipzig, 1887.
K. GOEBEL, Organographie. 2.^a ed. Jena, 1914.
H. VÖCHTING, Organbildung im Pflanzenreich. Bonn,
1878.
— Ueber die Bildung der Knollen. Cassel, 1887.
— Untersuchungen zur experimentellen Anatomie und
Pathologie des Pflanzenkörpers. Tubinga, 1908.
K. GOEBEL, Einleitung in die experimentelle Morpho-
logie. Leipzig, 1908.
A. HANSEN, Die Ernährung der Pflanzen. 2.^a ed. Leip-
zig, 1898.
-



ÍNDICE ALFABÉTICO

Adaptación al medio, 56.
Afinidad de los reinos vegetal
y animal, 16.
Aparato clorofilico, 102.
Armazón protoplasmática, 102.
Arquegonios, 75.

Bacterias, 12.
Bifurcación, 68.

Cambio de figura, 47.
— de sustancias, 127.
— de volumen, 47.
Célula, 11, 20, 30.
Células apicales, 51.
Celulosa, 20, 29.
Cianofíceas, 12, 34.
Cilios, 26.
Citoplasma periférico, 22.
Clorofila, 30.
Conformación, 127.
Conidios, 122.
Correlación, 84.
Crecimiento, 13, 47.
Criptógamas, 75.

Desarrollo, 47.
Desmidiáceas, 31.
Diatomeas, 35.
Dicotomía, 68.
Dionaea muscipula, 9.

Eje de la planta, 63.
Energías plasmantes, 47.
Espermatozoides, 123.
Esporas, 122.

Esporófilas, 75.
Esquizofíceas, 12.
Estímulos, 116.
Estolones, 85.
Excitantes, 8, 118.

Fanerógamas, 8.
Filamento celular, 40.
Flores, 74.
Formas juveniles, 81.
— tardías, 81.

Gametos, 122.
Generación alternante, 124.

Heterocistos, 35.
Hifas, 36.

Injerto, 97.

Jugo celular, 21.

Líneas anticlinas, 46.
— homofocales, 44.
— periclinas, 46.

Membrana plasmática, 23.
Meristemos, 50.
Metamorfosis, 74.
Mixomicetos, 17.
Monopodio, 67.
Morfología experimental, 78.

Núcleo, 18, 21.
Nucléolo, 21.

Oosfera, 88, 122.
Oospora, 123.
Organismo elemental, 30.
Organos de reproducción, 74.
Ortotropo, 83.
Oscilarias, 35.
Ovocélula, 122.
Ovulo, 123.

Pestañas vibrátiles, 26.
Plagiotropos, 83.
Plano celular, 40.
Planta, acción de las fuerzas
en la, 99.
— concepto general de la, 7.
— tipo de la, 7.
Plantas, prototipo de las, 7.
— vida de las, 16.
Plasmolisis, 24.
Polaridad, 93, 94.
Presión osmótica, 27.
Procesos de la excitación, 115.
Protoplasma, 15, 16.
Protoplasto, 23.
Punto vegetativo, 60.

Quimeras, 98.

Raíz, 62.
Ramas, 63.
Ramificación, 52.
— racimosa, 66.

Reacción del yodo, 102.
Regeneración, 89.
Reproducción, 13, 90.
— de la planta, 121.
— sexual, 121.
Restitución, 90.
Rizoides, 57.

Sachs, reacción del yodo, 102.
Sarcoda, 16.
Sarcoplasma, 16.
Series evolutivas, 29.
Sifonáceas, 31.
Simpodio, 67.
Substancias formadoras, 93.

Tallo, 57, 62.
Tejido embrionario, 60.
Tejidos, 20.
— leyes de la formación de
los, 38.
Turgescencia, 107.

Vacuolas, 21.
Vida vegetativa, 15.
Vitalismo, 128.

Yemas mixtas, 71.

Zona polar, 48.
Zoosporas, 25, 122.

INDICE DE LOS MANUALES PUBLICADOS

1. Introducción al estudio de la Química experimental (2.ª edic.)	R. BLOCHMANN
2. Introducción al estudio de la Botánica: La planta.	A. HANSEN
3. Teoría general del Estado (2.ª edic.)	O. G. FISCHBACH
4. Mitología griega y romana (3.ª edic.)	H. STEUDING
5-6. Introducción al Derecho hispánico	J. MONEVA
7. Economía política (2.ª edic.)	C. J. FUCHS
8. Tendencias políticas en Europa en el siglo XIX	HEIGEL-ENDORSS
9. Historia del Imperio bizantino (2.ª edic.)	K. ROTH
10. Astronomía (2.ª edic.)	J. COMAS SOLA
11. Introducción a la Química inorgánica (2.ª edic.)	B. BAVINK
12. La escritura y el libro (2.ª edic.)	O. WEISE
13. Los grandes pensadores (2.ª edic.)	O. COHN
14. Los pintores impresionistas (2.ª edic.)	BÉLA LÁZÁR
15. Compendio de Armonía (2.ª edic.)	H. SCHOLZ
16-17. Gramática castellana (2.ª edic.)	J. MONEVA
18. Huelenda pública, I: Parte general (2.ª edic.) ..	VAN DER BORCHT
19-20. Huelenda pública, II: Parte especial (2.ª edic.)	VAN DER BORCHT
21. Cultura del Renacimiento (2.ª edic.)	R. F. ARNOLD
22. Geografía física (2.ª edic.)	S. GÜNTHER
23-24. Etnografía (2.ª edic.)	M. HABERLANDT
25-26. Historia de la Medicina, I	P. DIEPGEN
27. Concepción del Universo, según los grandes filósofos modernos (2.ª edic.)	L. BUSSE
28. La poesía homérica	G. FINSLER
29. Vida de los héroes: Idéales de la Edad Media, I.	W. VEDEL
30. Historia de la Literatura italiana	K. VOSSLER
31. Antropología (2.ª edic.)	E. FRIZZI
32-33. Zoología: Invertebrados, I	L. BOHMIG
34. Meteorología (2.ª edic.)	W. TRAPFERT
35-36. Aritmética y Algebra (2.ª edic.)	P. CRANTZ
37. La educación activa (2.ª edic.)	J. MALLAT CUTÓ
38. Islamismo (2.ª edic.)	S. MARGOLIOUTH
39. Gramática latina (2.ª edic.)	W. VOTSCH
40. Kant (2.ª edic.)	O. KÜLPE
41. Prehistoria, I: Edad de la piedra (2.ª edic.) ..	M. HOERNES
42-43. Historia de los Estilos artísticos (2.ª edic.) ..	K. HARTMANN
44. Introducción a la Química general (2.ª edic.) ..	B. BAVINK
45. Trigonometría plana y esférica (2.ª edic.)	G. ESSENBERG
46-47. Física teórica, I: Mecánica, Acústica, Luz, Calor	C. JÄGER
48. Psicología aplicada (2.ª edic.)	TH. ERISMANN
49-50. Historia de la Literatura inglesa	A. M. SCHRÖER
51-52. Historia de la Medicina, II	P. DIEPGEN
53. Orientación profesional (2.ª edic.)	J. RUTTMANN
54-55. Geología, I: Volcanes. Estructura de las montañas. Temblores de tierra (2.ª edic.)	F. FRECH
56. Historia de la Geografía (2.ª edic.)	C. KRETSCHMER
57-58. Historia del Derecho romano, I (2.ª edic.)	R. VON MAYR
59. Grafología	MATILDE RAS
60. Derecho internacional público (2.ª edic.)	TH. NIEMEYER
61-62. Historia de las Artes industriales, I: Antigüedad y Edad Media	G. LEHNERT
63. El teatro	CHR. GAEHDE
64-65. Historia de la Economía, I: Antigüedad y Edad Media	O. NEURATH y H. SIEVEKING
66. Introducción a la Ciencia (2.ª edic.)	J. A. THOMSON
67. Socialismo (2.ª edic.)	R. MACDONALD
68. Compendio de Instrumentación	H. RIEMANN
69. Historia de la España musulmana (2.ª edic.) ..	A. G. PALENCIA
70. Historia de Inglaterra (2.ª edic.)	L. GERBER
71. El Parlamento	SIR C. P. ILBERT
72. Orientación de la clase media	L. MÜFFELMANN
73-74. La pintura española (2.ª edic.)	A. L. MAYER
75. La época de los descubrimientos	S. GÜNTHER
76. Cooperativas de consumo	F. STAUDINGER
77. India (2.ª edic.)	S. KONOW
78-79. La escultura de Occidente	H. STEGMANN
80. Prehistoria, II: Edad del bronce	M. HOERNES

INDICE DE LOS MANUALES PUBLICADOS

31. Introducción a la Psicología (2.ª edic.)	E. VON ASTER
32. Cultura del Imperio bizantino (2.ª edic.)	K. ROTH
83-84. España bajo los Borbones (2.ª edic.)	ZABALA LERA
85. Prácticas escolares (2.ª edic.)	R. SEYFFERT
86. Cubiertas y artesanados españoles	J. RÁFOLS
87-88. Geología, II: Ríos y mares	F. FRECH
89-90. Historia de Fráncia	R. STERNFELD
91. Derecho canónico	E. SEHLING
92-93. Geografía económica (2.ª edic.)	W. SCHMIDT
94. Arte romano (2.ª edic.)	H. KOCH
95-96. Psicología del trabajo profesional (2.ª edic.)	ERISMANN-MOERS
97. Geografía de Bélgica	P. OSWALD
98-99. Historia de la Literatura latina (2.ª edic.)	A. GUEDEMAN
100. Arte árabe	AHLENTIEL-ENGEL
101-102. Historia del Derecho romano, II	R. VON MAYR
103. Geografía de Fráncia	E. SCHEU
104. Política económica	VAN DER BORGH
105. Romántica caballeresca: Ideales de la Edad Media, II (2.ª edic.)	W. VEDEL
106-107. Historia de la Pedagogía	A. MESSER
108. Artes decorativas en la Antigüedad	F. POULSEN
109. Psicología del niño (2.ª edic.)	R. GAUPP
110-111. Historia de Italia	P. ORSI
112. La Música en la Antigüedad	K. SACHS
113. Química orgánica (2.ª edic.)	B. BAVINK
114. Zoología: Invertebrados, II	J. GROSS
115. Prehistoria, III: Edad del hierro	M. HOERNES
116. Desarrollo de la cuestión social	F. TONNIES
117-118. Física experimental, I	R. LANG
119-120. Historia de la Literatura alemana	M. KOCH
121. Teoría del conocimiento	M. WENTSCHER
122. Fundamentos filosóficos de la Pedagogía	A. MESSER
123-124. Historia de la Literatura portuguesa	F. DE FIGUEIREDO
125. Arte indio	O. HÖVER
126. Música popular española	E. LÓPEZ CHAVARRI
127-128. España bajo los Austrias	E. IBARRA
129. Geometría del plano	G. MAHLER
130. Geometría del espacio	R. GLASER
131-132. Historia del Derecho español	S. MINGULÓN
133. Liberalismo	F. J. HOBHOUSE
134. Historia del Comercio mundial	M. G. SCHMIDT
135. Mineralogía	R. BRAUNS
136-137. Física teórica, II	G. JÄGER
138-139. Historia de la Matemática	H. WIELEITNER
140-141. Física general	J. MAÑAS y BONVI
142. Petrografía	W. BRUHNS
143. Bajo elfrado (Armonía práctica al plano)	H. RIEMANN
144-146. Geografía de España	L. M. ECHEVERRÍA
147. Pedagogía experimental	W. A. LAY
148. Geografía de Italia	G. GREIM
149. Historia de la Filología clásica	W. KOLL
150. Reducción al plano de la partitura de orquesta	H. RIEMANN
151. Historia de la antigua literatura latino-cristiana	A. GUEDEMAN
152-153. Derecho político general y constitucional comparado	G. FISCHBACH
154. Historia del Antiguo Oriente	FRITZ HOMMEL
155-156. La orquesta moderna	FR. VOLBACH
157. Bergson	EDUARDO LE ROY
158. Europa medieval	H. W. C. DAVIS
159-160. Marfiles y azabaches españoles	J. FERRANDIS
161. El Estado de los Soviets	M. L. SCHLESINGER
162. Fraseo musical	H. RIEMANN
163. La Escuela	J. J. FINDLAY
164-165. Historia de la Literatura árabe-española	A. G. PALENCIA
166. Los animales prehistóricos	O. AREL
167-168. Geometría descriptiva	R. HAUSSENER
169. Los animales parásitos	E. F. GALIANO
170. Introducción al estudio de la Zoología	F. G. DEL CID

INDICE DE LOS MANUALES PUBLICADOS

171. Geografía del Mediterráneo griego	O. MAULL
172. Teoría general de la Música	H. RIEMANN
173. Dictado musical.....	H. RIEMANN
174. Países polares.....	H. RUDOLPH
175. Lógica	J. GRAU
176. Los problemas de la Filosofía	B. RUSSELL
177. Filosofía medieval	M. GRAMMANN
178. El alma del educador.	KERSCHENSTEINER
179. El desenvolvimiento del niño	D. BARNÉS
180-181. La escuela moderna y contemporánea ...	A. HEILMEYER
182. Manual del pianista	H. RIEMANN
183. Citología y anatomía de las plantas	H. MIEHE
184. Orígenes del régimen constitucional en España	M. F. ALMAGRO
185. El Crédito y la Banca.....	W. LEXIS
186. Estadística	S. SCHOTT
187-188. Psiquiatría forense	W. WEYGANDT
189-190. Arqueología española	J. R. MÉLIDA
191. Los animales marinos	E. RIOJA
192-193. Paleografía española, I	A. M. MILLARES
194. Paleografía española, II	A. M. MILLARES
195. Geografía del Japón.....	F. W. LEHMANN
196. Geografía política	A. DIX
197. La vida en las aguas dulces.	C. ARÉVALO
198. Direcciones contemporáneas del pensamiento jurídico	L. RECASÉNS
199-200. Geobotánica	E. H. DEL VILLAR
201. Comunismo	H. J. LASKI
202. El Comercio	W. LEXIS
203. Ética	J. B. MOORE
204. Higiene escolar.....	L. BURGERSTEIN
205. Manual del Organista	H. RIEMANN
206. Historia de Portugal.....	A. SERGIO
207-208. Historia de la Literatura rusa.....	A. BRUCKNER
209-210. La Arquitectura de Occidente.....	K. SCHAEFER
211-212. Composición musical.....	H. RIEMANN
213. Geografía de Suiza	H. WALSER
214. Geografía de las Islas Británicas	J. MOSCHELES
215. Conservatismo	LORD HUGH CECIL
216-217. Los fundamentos de la Biología.....	E. F. GALIANO
218. Introducción a la Bioquímica	W. LÖB
219-220. Teoría y práctica de la Contabilidad.....	F. H. DEL VALLE
221-222. Arte Italiano.....	A. VENTURI
223-224. La Edad Media en la Corona de Aragón....	A. GIMÉNEZ SOLER
225. Introducción a la Psicología experimental ..	N. BRAUNSHAUSEN
226-227. Introducción a la Ciencia del Derecho.....	TH. STERNBERG
228. Aristóteles.....	F. BRENTANO
229. Fuga	S. KREHL
230. Contrapunto.....	S. KREHL
231. Federico Froebel	J. PRÜFER
232. Economía y Política agraria	W. WYGODZINSKI
233. Países bálticos	M. FRIEDRICHSEN
234. Oceanografía física	G. SCHIOT
235-236. Historia de las Ideas políticas, I	R. G. GETTELL
237-238. Historia de las Ideas políticas, II	R. G. GETTELL
239. Los idearios políticos de la actualidad	H. HELLER
240. Santo Tomás de Aquino	M. GRAMMANN
241. La Psicología contemporánea	J. V. VIQUEIRA
242. La Enseñanza científico-natural	KERSCHENSTEINER
243. La educación de la adolescencia	D. BARNÉS
244-245. Historia de la Música	H. RIEMANN
246. Historia de Rusia	A. MARKOFF
247. Instituciones romanas	L. BLOCH
248. Organización del Comercio exterior	R. MICHELS
249. Despoblación y colonización.....	S. AZNAR
250-251. Geografía de la Rusia soviética, I	E. F. LESGAT
252. Geografía de la Rusia soviética, II	E. F. LESGAT
253-254. Países escandinavos	H. KERF
255-256. Derecho mercantil comparado	A. VICENTE Y GELLA

NUEVOS VOLUMENES EN PREPARACIÓN

