Lecciones de Biología

por

Celso Arévalo

TIFFEN® Color Control Patches © The Tiffen Company, 2007
Centimetres
Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black

Sig.: 4970 AS
Tít.: Lecciones de Biologia general e
Aut.: Arévalo Carretero, Celso
Cód.: 51140466

HESPERIA
LIBROS HISPANICOS
ZARAGOZA
ESPAÑA

R.136.296

Obsequio del Autor

LECCIONES

DE

BIOLOGIA GENERAL

EXPLICADAS POR EL CATEDRÁTICO DE LA ASIGNATURA

DR. C. AREVALO

EN EL

INSTITUTO DEL CARDENAL CISNEROS

ACOMODADAS AL CUESTIONARIO OFICIAL VIGENTE
DEL BACHILLERATO UNIVERSITARIO

SEGOVIA: TIP. «EL ADELANTADO».—1929

BIBLIOTECA PÚBLICA · SEGOVIA ·

INDICE

Páginas

Lección 1.ª—Biología. Ciencias biológicas. Ciencias auxiliares de la biología..... 1
Lección 2.ª—Nociones elementales de Química biológica. Composición química de la materia viva. Elementos biogenésicos. Principios inmediatos..... 3
Lección 3.ª—Citología. Estructura y caracteres físico-químicos de la célula..... 13
Lección 4.ª—Fisiología celular..... 25
Lección 5.ª—Asociaciones celulares. Relaciones anatómicas y funcionales entre las células de un organismo. Diferenciación celular y división del trabajo fisiológico. Tejidos..... 47
Lección 6.ª—La multiplicación asexual..... 51
Lección 7.ª—La reproducción sexual..... 61
Lección 8.ª—Partenogénesis..... 78
Lección 9.ª—Duración y término de la vida..... 86
Lección 10.—Preformación y epigénesis..... 92
Lección 11.—Mendelismo..... 98
Lección 12.—Taxonomía biológica. Nomenclatura biológica. Importancia y subordinación de los caracteres..... 111

LECCION 1.ª

BIOLOGÍA. CIENCIAS BIOLÓGICAS. CIENCIAS AUXILIARES DE LA BIOLOGÍA

Es frecuente que se emplee la palabra Biología para designar el conjunto de todos nuestros conocimientos relativos a los seres vivos, así como el que se reserve para el estudio de los caracteres generales de la vida (1).

Según la primera acepción son ciencias biológicas todas aquellas que dirigen su atención a los seres vivos, incluso las que se interesan por ellos con una finalidad práctica, como la Medicina, Veterinaria, Agricultura, Acuicultura, etc. En cambio, según la segunda acepción, pertenecen a la Biología solamente aquellas ciencias que investigan las propiedades y caracteres generales de la materia viviente con la aspiración de buscar la causualidad del fenómeno vital cuya esencia escapa, al menos en el estado actual de nuestros conocimientos, a la inteligencia humana, la cual, como manifestación de la vida, parece buscar con la Biología su propia razón de ser.

La Biología, en sentido lato, comprende, pues, las más variadas disciplinas positivas relativas a los organismos, mientras que en sentido estricto es una ciencia de alto porte filosófico que discurre sobre el gran arcano de la vida.

Podemos considerarla dividida con Tschuloks en siete partes, cada una de las cuales pueden dividirse en dos, según atiendan al estudio de los organismos o de sus colectividades, ya que un organismo no es una entidad abstracta e independiente, sino

---

(1) El cuestionario refleja semejante dualidad usando la palabra Biología para designar el todo y una de las partes.

un elemento en interacción con los que le rodean y que más o menos directamente con él se relacionan. A continuación exponemos el sistema de la Biología, según du Rietz.

	Objeto de estudio	
	Organismos (Flora y Fauna) Idiobiología (Noción fundamental la especie)	Asociaciones de organismos (Vegetación y asociaciones animales) Biosociología (Noción fundamental, la asociación)
Situación, caracterización y ordenación de las individualidades vivientes.....	Sistemática (Taxonomia)	Biosociología sistemática (Sistemática de las asociaciones vivientes).
Forma y conformación interna de las individualidades vivientes...	Morfología (Anatomía)	Biosociología analítica (Morfología de las asociaciones vivientes).
Funciones vitales de las individualidades vivientes.....	Fisiología	Biosociología fisiológica (Sinfisiología).
Génesis y variaciones de las individualidades vivientes.....	Genética	Biosociología genética (Singenética).
La distribución de las individualidades vivientes en el espacio.....	Corología	Biosociología corológica (Sincorología)
El ambiente de las individualidades vivientes e influencia sobre ellas	Ecología	Biosociología ecológica (Sinecología).
La distribución de las individualidades vivientes en el tiempo.....	Paleontología	Biosociología paleontológica (Paleosociología).

De las ciencias auxiliares de la Biología son, desde luego, la Física y la Química las más fundamentales, así como la Geología. La aplicación del cálculo a determinadas cuestiones biológicas ha permitido llevar a ellas la precisión peculiar de las Matemáticas.

LECCION 2.ª

NOCIONES ELEMENTALES DE QUÍMICA BIOLÓGICA. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA VIVA. ELEMENTOS BIOGENÉSICOS. PRINCIPIOS INMEDIATOS

De los ochenta y tantos elementos químicos o cuerpos simples que constituyen nuestro planeta, una pequeña parte entran en la constitución de toda materia viviente, a saber: el carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, azufre y fósforo, así como algunos metales, potasio, magnesio y hierro, siendo también necesario el calcio para la mayor parte de las plantas superiores y el sodio y cloro para los animales. Aparte de estos elementos, una docena de otros pueden formar parte de la materia viviente, aunque no parezcan elementos indispensables de ella, pero sí a ciertos seres en particular. En tal caso, están el litio, bario, estroncio, cobre, cinc, silicio, fluor, arsénico y bromo. Más o menos accidentalmente, pueden entrar otros muchos, como el manganeso, aluminio, rubidio, cesio, iodo, estroncio, vanadio, etcétera, siempre en cantidades infinitesimales.

Respecto a la proporción en que entran los diversos elementos en la constitución del material viviente, figuran a la cabeza los elementos del agua, ya que ésta constituye del 50 al 95 % del peso total, siendo en la materia seca el carbono el más abundante, al que siguen el oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y, por último, los restantes elementos que forman parte de las cenizas, cuyo conjunto es menor en general que el de cualquiera de los enumerados.

Cuando se reflexiona sobre las propiedades de los elementos constituyentes de la materia viva, es fácil explicarse la razón de haber determinados cuerpos predilectos de ella. Llama ante todo la atención el escaso peso atómico de los elementos bioge-

nésicos más característicos y abundantes, a lo que debe la materia viva su ligereza, que la es indispensable, pues la actividad vital es incompatible con una constitución de gran densidad, como la que resultaría de una naturaleza preferentemente metálica. Por otra parte, el gran calor específico que posee la materia viva, como resultado de estar formada de elementos en que éste ha de ser grande por estar, según la ley de Dulong y Petit, en razón inversa del peso atómico, hace que puedan retener a una determinada temperatura el máximum de calor y que ofrezcan una gran inercia a seguir las modificaciones de la temperatura ambiente, amortiguando las oscilaciones de ésta, cuya gran amplitud es desfavorable a la actividad vital.

Por otra parte, como las combinaciones de átomos ligeros son más solubles que las de átomos pesados, los elementos biogenésicos resultan apropiados para ser adquiridos por la vida, que exige su entrada en disolución acuosa.

Además, se trata de elementos muy abundantes en la superficie de la tierra, condición indispensable para la generalidad del fenómeno viviente en toda ella, que sería incompatible con la constitución química a base de cuerpos raros.

La tetravalencia del carbono, elemento fundamental y característico de todas las substancias orgánicas, hace posible la constitución de moléculas muy complicadas propias de ellas, así como su gran variedad y la situación intermedia en el sistema periódico de Mendelejeff, le hace propio para unirse lo mismo a elementos electropositivos que electronegativos y para formar compuestos de carácter mixto, oxidante y reductor, ácido y básico, etc. El silicio, el cuerpo más análogo al carbono por su tetravalencia y su abundancia, es poco útil por su gran peso específico, viniendo a ser por exclusión el elemento característico de la materia inorgánica ya que a pesar de su abundancia en superficie, es excepcional en la materia viviente. Se le encuentra, sin embargo, en los seres vivos formando órganos no vivientes, como caparazones, espículas, etc.

Los elementos biogenésicos se hallan en el organismo formando compuestos, que se denominan *principios inmediatos*. Algunos de éstos se encuentran también en el mundo mineral, pero la mayor parte son exclusivos de la materia orgánica y hasta se había creído que sólo podían formarse por la acción de

la vida, pero desde que en 1828 Woehler obtiene sintéticamente la urea, substancia fundamental de la orina en la que se expulsa disuelta, se ha visto que pueden obtenerse fuera del organismo, *in vitro*, como corrientemente se dice, principios inmediatos orgánicos y su número aumenta de día en día, sabiéndose fabricar hoy cuerpos de composición tan compleja como el ácido cítrico, que comunica el agrio al limón, gran número de alcaloides como la cafeína, teoteobromina, atropina, etc., principios activos del café, cacao, belladona, respectivamente, etcétera. Es preciso, sin embargo, tener en cuenta, que el mundo inorgánico sigue siendo incapaz de producir tales cuerpos y que la inteligencia humana, que ha conseguido descubrir la manera de obtenerlos, es un producto de la vida y por lo tanto, sigue necesitándose la acción de ella para su producción.

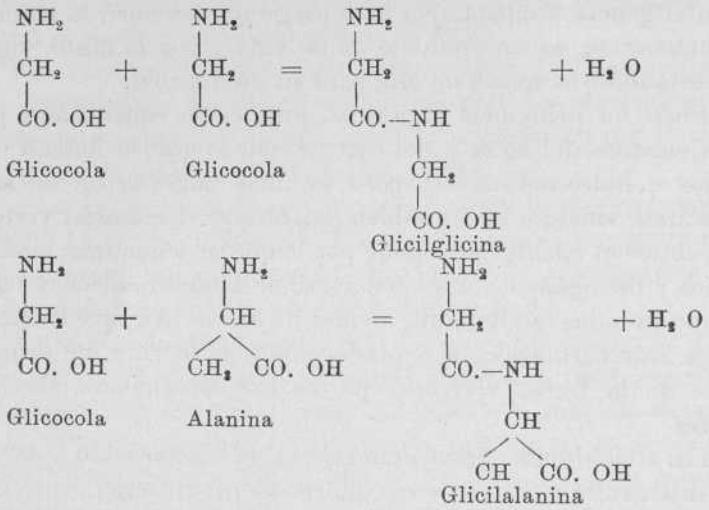
Entre los principios orgánicos, unos están constituídos por los elementos del agua y del carbono por lo que se llaman ternarios e hidrocarbonados, pero los más importantes no sólo cuantitativamente, sino también por formar el material viviente, contienen además nitrógeno por lo que se denominan cuaternarios y nitrogenados, así como también albuminoideos, ya que es tipo de ellos la albúmina o clara de huevo. Aunque los principios hidrocarbonados son producciones de la vida, no forman parte de la trama viviente, que es exclusivamente, albuminoidea.

Los albuminoides poseen también en su composición frecuentemente azufre o fósforo y sus moléculas gigantescas contienen gran número de átomos, alcanzando dimensiones de 2,3 a 2,5 $\mu\mu$ (1 $\mu\mu$=0,000001 mm) y no bajando el peso molecular de 4.000 a 7.000, en los más sencillos.

La química no ha llegado todavía a interpretar la constitución química de la complicada molécula albuminoidea pero ha podido en estos últimos tiempos llegar a la conclusión de que todos los albuminoides están constituídos de cuerpos nitrogenados sencillos, llamados aminoácidos por tener dos grupos funcionales, amígeno (NH) y ácido (CO.OH) enlazados por una cadena hidrocarbonada, cuya reacción anfótera, es decir, al mismo tiempo ácida y básica, les consiente complicadas y numerosas articulaciones. Se conocen ya 16, entre los cuales, unos son monoaminoácidos como la glicocola o glicina, la alanina, la

leucina, etc. Otros, son diaminoácidos, es decir, tienen dos grupos NH_2, como la lisina, cistina, arcteina, etc.

Suponiendo que los aminoácidos pueden enlazarse articulándose el grupo ácido con el amígeno con separación de una molécula de agua, ha llegado Fischer a obtener sencillos albuminoides llamados polipétidos hasta con 16 moléculas de aminoácidos. Como ejemplo de estas articulaciones, véase cómo se obtiene la fórmula de la glicilglicina a expensas de dos moléculas de glicocola y la de la glicilalanina de una de glicola y otra de alanina (ácido amino 2 propionico).



Sin entrar en el estudio del grupo de los albuminoides que corresponde a la química orgánica, nos limitaremos a exponer el siguiente cuadro de su clasificación según Cohnheim:

I. Albuminoides sencillos:

Albúminas.

Globulinas.

Albuminoides vegetales alcohólicos.

Histonas.

Albuminoides olorosos.

II. Albuminoides salinos.

III. Productos de hidratación de los albuminoideos Proteosas (Albumosas) y Peptonas (con ellas los Peptidos).

IV. Proteidos:

Fosfoproteidos (Nucleinas y Fosfonucleinas).

Glucoproteidos.

Nucleoproteidos.

Hemoproteidos.

Los más importantes de todos los albuminoides son los Proteidos, pues son los que constituyen el material viviente. Entre ellos, los más conocidos son los nucleoproteidos, los cuales se disocian por una parte en substancias albuminoideas no fosforadas y otras cada vez más ricas en fósforo, separándose los llamados ácidos nucleínicos constituídos por ácido fosfórico, bases nitrogenadas e hidratos de carbono.

Nucleoproteidos (1 a 0.5 % de P)

albuminoides — nucleinas (3 a 4 % de P)

albuminoides — ácidos nucleinicos (9 a 10 % de P)

bases púricas — ácido tímico

bases pirimídicas — hidrato de carbono — acido fosfórico

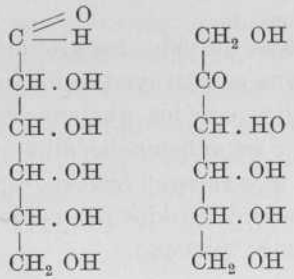
A los fosfoproteidos corresponden la caseina de la leche, la vitelina de la yema del huevo, etc.; a los glucoproteidos corresponden la mucina del mucus y la ovoalbúmina o clara de huevo, y a los cromoproteidos substancias colorantes de gran importancia vital como la hemoglobina de la sangre y la clorofila de los vegetales.

Entre los principios inmediatos hidrocarbonados, figuran los hidratos de carbono y las grasas. Los primeros poseen un número de átomos de carbono múltiplo de cinco (pentosas) o de seis (exosas) y doble número de átomos de hidrógeno que de oxígeno a lo que alude su nombre ya que parecen combinaciones de carbono y agua. Pueden, pues, representarse por las fórmulas

$C_{5x}\ (H_2\ O)_y$ las pentosas
$C_{6x}\ (H_2\ O)_y$ las exosas.

Las exosas, que son las más importantes, pueden ser monosacáridos si $x = 1$, disacáridos cuando $x = 2$ y polisacáridos cuando $x = n$. Los monosacáridos $C_6\ H_{12}\ O_6$ tienen cinco veces

la función alcohólica y una la aldehídica en las llamadas aldosas o la acetónica en las cetosas como muestran las fórmulas siguientes:



Glucosa (aldosa) Levulosa (cetosa)

Los disacáridos $C_{12}H_{22}O_{11}$ resultan de la unión de dos moléculas de monosacáridos con separación de una de agua por lo que por hidrolisis se desdoblan en dos moléculas de monosacáridos como muestra la reacción siguiente que se conoce con el nombre de inversión del azúcar,

$$\underset{\text{Sacarosa}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O = \underbrace{\underset{\text{Glucosa}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Levulosa}}{C_0H_{12}O_6}}_{\text{azúcar invertido}}$$

Los monosacáridos y disacáridos se llaman con frecuencia azúcares y son cuerpos solubles en agua a la que comunican el sabor dulce característico y la consistencia propia del jarabe. Entre los primeros, los más importantes son la glucosa o azúcar de uva y la levulosa o fructuosa o azúcar de frutos y en los segundos, la sacarosa o azúcar de caña que, por inversión, da la mezcla de los dos anteriores llamada azúcar invertido y la lactosa o azúcar de leche.

Los polisacáridos resultan de la condensación de un cierto número de moléculas de monosacárido con separación de igual número de moléculas de agua,

$$n\,C_6H_{12}O_6 = (C_6H_{10}O_5)n + n\,H_2O$$

y a ellos corresponde la celulosa, el almidón animal o glicógeno y el almidón vegetal que se presenta en granos blancos que se hinchan en el agua caliente dando una masa pegajosa o engrudo que se tiñe de azul por la acción del iodo.

Las grasas son esteres, es decir, combinaciones de ácidos y alcoholes tri o poliatómicos con separación de agua. El alcohol, que generalmente las constituye en la glicerina o propanotriol

$$\begin{array}{l} CH_2\ OH \\ | \\ CH\ .\ OH \\ | \\ CH_2\ OH \end{array}$$

que en las grasas neutras está combinado con ácidos monobásicos de la serie.

$$\begin{array}{l} C_n\ H_{2\,n+1} \\ | \\ CO\ .\ OH \end{array}$$

de los cuales los más frecuentes son

Acido fórmico.....	$H - CO\ .\ OH$
acético.....	$C\ H_3 - CO\ .\ OH$
propiónico.....	$C_2\ H_5 - CO\ .\ OH$
butírico.....	$C_3\ H_7 - CO\ .\ OH$
caprónico.....	$C_5\ H_{11} - CO\ .\ OH$
palmítico.....	$C_{15}H_{31} - CO\ .\ OH$
margárico.....	$C_{16}H_{33} - CO\ .\ OH$
esteárico.....	$C_{17}H_{35} - CO\ .\ OH$

La siguiente reacción muestra la manera de constituirse las grasas

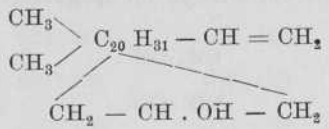
$$\begin{array}{l} CH_2 \\ | \\ CH \\ | \\ CH_2 \end{array} \boxed{\begin{array}{l} OH \\ OH \\ OH \end{array}} \begin{array}{l} H \\ +H \\ H \end{array} \begin{array}{l} O\ .\ CO-C_n\ H_{2\,n+1} \\ O\ .\ CO-C_n\ H_{2\,n+1} \\ O\ .\ CO-C_n\ H_{2\,n+1} \end{array} = 3\ H_2\ O + \begin{array}{l} CH_2-O\ .\ CO-C_n\ H_{2\,n+1} \\ | \\ CH-O\ .\ CO-C_n\ H_{2\,n+1} \\ | \\ CH_2-O\ .\ CO-C_n\ H_{2n+1} \end{array}$$

Glicerina ácido graso grasa

Las grasas son líquidos o sólidos fácilmente fusibles, según el ácido que las constituyan y por los óxidos metálicos se descomponen, abandonando la glicerina y formándose sales de los

ácidos, llamadas jabones, por lo que el fenómeno se denomina saponificación de las grasas.

Análogos a las grasas son los llamados lipoides, pero poseen nitrógeno y fósforo. A ellos pertenecen las lecitinas, así como la colesterina, cuya constitución química puede representarse con el siguiente esquema



Entre los principios inmediatos inorgánicos merecen citarse aparte del agua y del oxígeno libre, sales como los cloruros, sulfatos y fosfatos de sodio, magnesio, calcio y amonio.

Una gran parte de las substancias que componen la materia viva, presentan un estado físico particular, llamado coloidal.

Los coloides están constituídos por diminutos agregados de moléculas, dispersos en el disolvente llamados micelas, los cuales, aunque chocando entre sí de continuo en virtud de los movimientos incesantes en todas direcciones que las imprime la agitación de las moléculas del disolvente, ofrecen gran resistencia a perder su individualidad en razón a la débil atracción recíproca, efecto de su pequeñez y a estar electrizadas. Sensibles por su pequeña masa a los choques que de continuo reciben en todos sentidos de las moléculas del disolvente, muestran la agitación característica del movimiento browniano que no ofrecen las gruesas partículas de las suspensiones. La pequeñez de las micelas es tan grande, que si bien en ciertos coloides llamados resolubles llegan a verse con el ultramicroscopio, en otros denominados irresolubles, es imposible discernirlas. Dada esta pequeñez, las micelas ofrecen cualidades singulares que resultan de su poco peso y de su enorme superficie en relación a su volumen, por ello no se sedimentan al menos si no se someten a fuertes y prolongadas centrifugaciones, y dan lugar a los fenómenos de *adsorción,* en virtud de los cuales las micelas retienen tanto el disolvente como substancias dispersas en él. El tamaño de la micela no es constante ni específico, sino que varía con la presencia en el medio de dispersión de determinados iones para cada caso, variando con dicho tamaño las condiciones de equili-

brio del sistema y por tanto éstas dependen de la composición del medio de dispersión y sus variaciones le pertuban. La pérdida de la carga eléctrica de las micelas, haciendo desaparecer la repulsión electrostática de ellas, parece la causa principal que da lugar a su aglutinación, la cual constituye el fenóneno llamado coagulación en virtud del cual un hidrolsol, como se llama a los coloides, es que, como ocurre en todos los vitales el medio de dispersión es el agua, se convierte en hidrogel. En la coagulación la desaparición de la carga electrostática acarrea también la anulación de la adsorción y en virtud de ello la substancia dispersa se separa y pierde su afinidad por el medio de dispersión. Todas aquellas acciones que modifiquen el equilibrio del sistema coloidal, tales como el calor, las variaciones del medio de dispersión, etc., provocan la formación del coágulo.

Antiguamente se admitía una diferencia fundamental entre las verdaderas disoluciones y las coloidales, suponiéndose que existían dos categorías de substancias, las cristaloides que daban lugar a las primeras y las coloides a las segundas; mas hoy día se ha visto que entre las disoluciones verdaderas, las coloidales y las simples suspensiones de sólidos en líquidos, no hay más que una diferencia de grado, pues depende del tamaño de las partículas en suspensión. En el siguiente cuadro se precisan los límites más o menos arbitrarios, entre estas tres clases de sistemas dispersos en relación con el tamaño de las partículas en suspensión y de algunas de sus propiedades.

0'1 μμ	1 μμ	10 μμ	100 μμ	1 μ(1)	10 μ	100 μ	1 mm
Zona ultramicroscópica				Zona microscópica			
Partículas que muestran el movimiento Browniano				Las partículas no muestran agitación alguna			
Las partículas atraviesan el papel de filtro				Las partículas son detenidas por el papel de filtro			
Verdaderas disoluciones	Disoluciones coloidales			Emulsiones y suspensiones			
0'1 μμ	1 μμ	10 μμ	100 μμ	1 μ	10 μ	100 μ	1 mm

(1) 1 μ = una milésima de milímetro, 1 μμ = una millonésima de milímetro.

Dado el mayor tamaño de las partículas coloidades respecto a las de las disoluciones, sus movimientos son menos lentos y se difunden menos rápidamente en el medio de suspensión, atraviesan con más dificultad las membranas orgánicas, por lo que resultan prácticamente indializables y su movimiento menos rápido hace también que la presión osmótica que originan sea débil, influyendo poco por lo mismo en el punto de congelación y de ebullición del disolvente. El mayor grosor de las partículas, con relación a la amplitud de las vibraciones lumínicas, hace que reflegen la luz que al incidir en un coloide le ilumina, mientras que las verdaderas disoluciones se dejan atravesar por la luz sin iluminarse, lo que se expresa, diciendo que son ópticamente vacías. Dependiendo este fenómeno, llamado de Tyndall, de la amplitud de las vibraciones, o sea, de la intensidad de la luz y del tamaño de las partículas, resultará que a la luz solar, la más intensa de que disponemos, serán vacíos todos los sistemas dispersos, cuyas partículas sean de diámetro inferior a 0,001 m.

La actitud de un cuerpo disperso para adoptar el estado cristalino, depende también del tamaño de las partículas dispersas, por lo que los coloides resultan más refractarios a la cristalización, que puede, sin embargo, conseguirse, de forma que esté como todos los demás caracteres que se daban como diferenciales entre los cristaloides y coloides, no prueban más que diferencias de grado entre ambos.

Por lo que se refiere a la substancia viviente, es un complejo en que existen conjuntamente en un medio de dispersión acuoso, cuerpos disueltos, otros en estado coloidal, corpúsculos sólidos y hasta inclusiones de corpúsculos relativamente grandes para ser perfectamente discernidos con el microscopio corriente. Las consecuencias de tal complejidad se acusan en la del dinamismo inestable y continuo, que hemos de ver caracteriza a la materia viviente.

LECCION 3.ª

CITOLOGÍA. ESTRUCTURA Y CARACTERES FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CÉLULA

Uno de los más importantes resultados de la investigación biológica durante el siglo XIX, ha sido la conclusión de que los organismos están formados de unidades vivientes llamadas células, cuyo estudio constituye el asunto de la citología, las cuales están asociadas en gran número en los vegetales y animales superiores, mientras que en las formas más sencillas como las bacterias entre los primeros y los protozoos, en los segundos, el cuerpo se reduce a una sola célula. La existencia de seres unicelulares, es decir, formados de una sola célula, prueba que ésta es un elemento capaz de vivir independiente, y si las células componentes del organismo de los seres pluricelulares pierden en virtud de la especialización que en ellas se opera la facultad de vivir aisladas, conservan a pesar de su estrecha y recíproca coordinación con sus coasociadas, su individualidad propia, como la conservan los miembros de una sociedad, bien que su actividad esté coordinada para los altos fines de la asociación.

Es, pues, la célula el elemento vital, es decir, la más sencilla formación en que la vida puede manifestarse, como el átomo es la unidad de la materia, comparación aún más instructiva si se tiene en cuenta, que así como han mostrado las modernas investigaciones, el átomo está a su vez constituído de elementos llamados electrones pero que no son cuerpos químicos, y por lo tanto, el átomo sigue siendo la unidad de la materia, la Biología moderna ha probado de manera análoga que la célula no es la última manifestación vital, sino que ella contiene formaciones

aún más elementales, pero que no pueden existir aisladas, y por tanto, la célula sigue siendo el elemento biológico fundamental.

La palabra célula fué propuesta por el físico inglés R. Hooke para designar las celdillas poliédricas vacías, análogas a las de un panal que había descubierto observando el corcho al microscopio. El empleo de este instrumento permitió reconocer en otros materiales también vegetales, pero vivientes, la existencia de cavidades rellenas de un líquido que fueron denominadas utrículos, lo que hizo pensar que los seres vivos tenían su cuerpo ahuecado de infinidad de cavidades, mas el haberse logrado la disociación de las células, permitió proclamar la individualidad de éstas y el descubrimiento de células sin membrana, hizo dar importancia al contenido que recibió el nombre de protoplasma dado por Prkinje, el cual ha prevalecido al de sarcoda con el que designó Dujardin, a la substancia que forma el cuerpo de ciertos animales unicelulares microscópicos sin membrana.

Desde entonces, la membrana, que es lo que primeramente había llamado la atención, quedó considerada como una producción accesoria de una substancia fundamental el protoplasma, que además de la materia protoplasmática propiamente dicha, generalmente denominada el citoplasma contiene un corpúsculo llamado núcleo, viniéndose a admitir que todos los seres están compuestos de células cuando no se reducen a una sola, quedando demostrado después de los trabajos de Nägeli Remack, etc., que éstas se forman unas a expensas de otras, con lo que se llegó a la conclusión de que las células que componen el cuerpo de un ser plunicelular proceden todas de la división repetida de una primordial en general originada por la fusión de dos preexistentes o células sexuales, completándose de esta manera la concepción que ha recibido el nombre de teoría celular. Esta teoría aparece impugnada con los experimentos llamados de merotomia celular, mediante los cuales se ha conseguido someter diminutos organismos unicelulares como *Stentor*, infusorio representado en la fig. 1 a mutilaciones que demuestran que los fragmentos no solamente viven si contienen parte de su núcleo largo y moniliforme sino que regeneran la forma y dimensiones de la célula completa muy complicada y provista de gran número de diferenciaciones en estos animales que están muy lejos de ostentar las células federadas de los organismos

superiores. Por otra parte, encuéntranse seres, formados de células, cuyo territorio no está deslindado, pues bañados por un protoplasma común *pro indiviso,* existen multitud de núcleos, las cuales resultan ya de la fusión del protoplasma de diversas células desnudas, que no alcanza a los núcleos (*plasmodio o simplasto*), ya de la división del núcleo de la que no participa el protoplasma (*apocitio*) y no es raro el caso de que células bien separadas por una membrana que claramente las delimita mantengan relaciones de continuidad a beneficio de puentes intercelulares llamados *plasmodesmos.* Entre las algas existen formas relativamente diferenciadas de estructura celular continúa como se la designa en oposición a la tabicada en que el campo de cada célula está perfectamente deslindado por las membranas de separación. En todo caso, la individualidad de la célula se esfuma y es preciso recurrir al concepto de *energida* como designaba el botánico alemán Sachs al conjunto de un núcleo y de la porción de protoplasma que está bajo su influencia, de forma que las antiguamente llamadas células polinucleadas (plasmodios y apocitios) son polienergidas, así como las células de los infusiorios, pues en un protoplasma único aparece un complejo macronúcleo polienergido, cuya disociación consiente la partición con éxito mediante la merotomia.

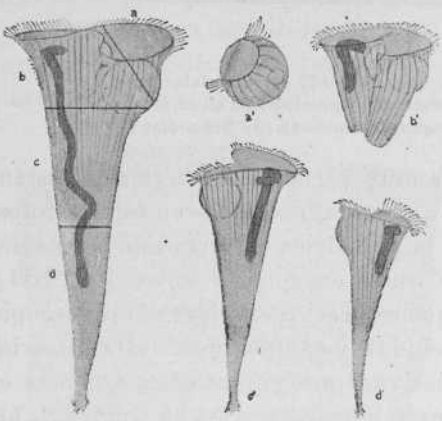


Fig. 1.

Experimento de merotomia en un infusorio *(Stentor roeseli)* que ha sido cortado en cuatro fragmentos uno sin núcleo (a) y tres con fragmentos de él, los cuales crecen y se completan mientras que el fragmento enucleado degenera y muere. (De Bélar.)

Se admitía antes con Haeckel la existencia de células sin núcleo llamadas moneras que formaban el cuerpo de los seres más primitivos en los que no existe aún diferenciación entre protoplasma y núcleo, pero en muchos de ellos se ha probado la existencia de núcleo y solamente en ciertas plantas inferiores, como son las bacterias y cianoficeas, puede existir la duda de la exis-

tencia de un núcleo indiferenciado, reducido a gránulos sueltos (fig. 2) o cromidios a veces en el cuerpo central de la célula.

Fig. 2.

Ejemplo de monera *(Bacillus Bütschli)* ser unicelular desprovisto de núcleo y ostentando un protoplasma alveolar con granulaciones de cromatina (cromidios). (De Schaudinn.)

Las células son de forma muy variada, la esférica es bastante frecuente en las libres y aun en las asociadas en tejidos fofos, mas éstas toman a menudo la poliédrica en virtud de las presiones recíprocas. Su tamaño oscila en general entre 10 y 100 μ (milésima de mm.), por lo que es preciso emplear el microscopio por su estudio, existiendo células menores, y por el contrario, algunas de dimensiones relativamente gigantescas, como es el caso de las fibras musculares y nerviosas que, en longitud, alcanzan hasta un metro, bien que su finura es extrema y la yema del huevo de algunos animales, como las aves, que en las de gran tamaño especialmente, alcanzan dimensiones en proporción colosales, si bien la parte protoplásmica es también en ellas muy reducida, siendo las reservas las que llenan el enorme volumen.

Cuando no se conocía la constitución de los coloides se concedió una gran importancia al descubrimiento de la estructura del protoplasma, habiéndose imaginado una serie de disposiciones que se presentan como teorías sobre la constitución del protoplasma, tales como la granular, de Altman, que suponía una serie de gránulos flotantes en un líquido gelatinoso, la reticular, de Frohmman, que interpretaba los gránulos como nudos de una red o retículo protoplásmico, bañado por la parte hialina, la fibrilar, de Flemming, que admitía la existencia de filamentos flotantes en el líquido protoplasmático y la alveolar, de Bütschli, que suponía que la parte líquida ocupaba el interior de vesículas sólidas asociadas a manera de espuma. Tales teorías responden a la interpretación de aspectos distintos que ofrece al protoplasma, cuya estructura se estudia hoy día a la luz de la física coloidal, y es variable, como ponen de manifiesto los experimentos de Gierberg sobre modificaciones estruc-

turales del protoplasma de la *Amaeba radiosa,* por la acción de las disoluciones de azúcar y acetato sódico.

En las células de muchos protozoos y en la mayor parte de las células vegetales un jugo celular hialino forma vacuolas esparcidas en el protoplasma granuloso (fig. 3) que, aunque pequeñas y numerosas, en las células jóvenes se van reuniendo en gruesas gotas, que reducen el protoplasma a cordones-puentes que enlazan la porción perinuclear con la periférica hasta que se fusionan en una gran vacuola central, la cual ocupa la mayor parte del interior de la célula, quedando todo el protoplasma relegado a la periferia con el núcleo, que en lugar de su situación central, adopta la parietal, es decir, aplicado a la pared celular.

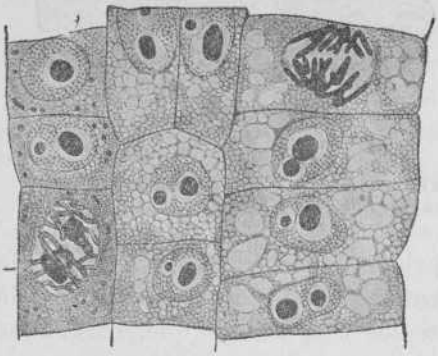


Fig. 3.

Fragmento de un tejido vegetal viviente formado de jóvenes células separadas por finos tabiques celulósicos, mostrando en el protoplasma abundantes vacuolas especialmente desarrolladas en las de la derecha, mientras las de la izquierda contienen cromatóforos. Las células poseen sendos núcleos en diversos estados de división que acusa su diversidad de estructura. (De Giersberg.)

La superficie del protoplasma nunca es desnuda, sino que se encuentra revestida de una membrana que en muchos casos no es visible y solamente puede ser delatada por medios experimentales. Por el contrario, en muchas células se refuerza con una recia coraza llamada *cápsula de secreción,* por estar constituída por substancias expulsadas por la célula, la cual en los vegetales es siempre de naturaleza celulósica, aunque en ocasiones profundamente transformada. A ella se extiende corrientemente la denominación de membrana.

En ocasiones la célula ostenta dos zonas protoplasmáticas bien diferenciadas, una periférica más hialina y activa el ectoplasma, a expensas de la cual se constituye la membrana, y otra más inerte y granulosa, el endoplasma, que aloja al núcleo. En realidad, ectoplasma y endoplasma no son dos clases distintas de protoplasma, sino dos estados diferentes de una misma substancia.

La investigación mediante métodos de tinción particulares, ha permitido poner de manifiesto en el protoplasma la existencia de gránulos vivientes, llamadas mitocondrias (fig. 4), frecuen-

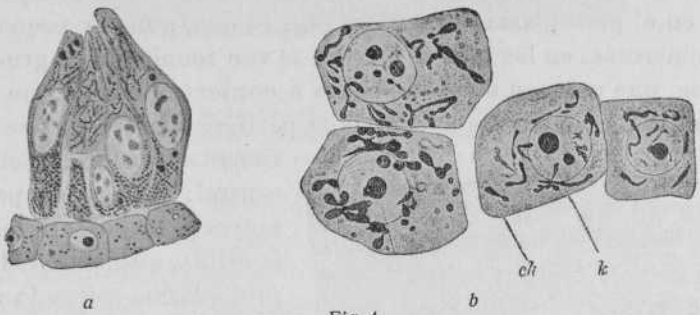


Fig. 4.

Condrioma en células animales (*a*) y vegetales (*b*). Las mitocondrias *ch* se muestran en el protoplasma exteriores al nucleo *k*. (De Lewitzky).

temente alineados en formaciones moniliformes y en ocasiones formando verdaderos filamentos (condriomitos). A este condrioma pueden, quizá, referirse los corpúsculos que, cargándose de pigmento, juegan bajo el nombre de cromotóforos un papel tan importante en las células vegetales así como el llamado aparato de Golgi, conjunto muy polimorfo de trabéculas anastomosadas en red que ostentan las células animales, etc. También es digno de señalarse un corpúsculo, a veces doble, próximo, en general, al núcleo el centrosoma, que en los preludios de la división celular se hace más aparente, apareciendo rodeado de una aureola o esfera atractiva de la que irradian filamentos protoplásmicos.

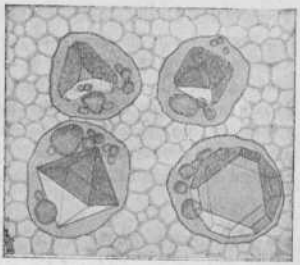


Fig. 5.

Cristaloides proteicos incluídos con globoides en los granos de aleurona del endospermo del ricino. El protoplasma rico en gotas de grasa que han sido disueltas por el alcohol absoluto muestra una estructura espumosa. (De Hertwig).

Frecuentemente encierra el protoplasma elementos inertes, ya fibrilares, de conformación muy variada, como se frecuenteen muchos flagelados y espermatozoides, así como en las células nerviosas, ya gránulos de substancias de reserva, almidón, alcurona, grasa, como es muy común en las células vegetales, y hasta cristales y también cris-

taloides protéicos (fig. 5), lo que prueba que el medio celular es perfectamente idóneo para la cristalización.

Formaciones exteriores activas son, en cambio, los órganos de movimiento de que hemos de ocuparnos más adelante, mientras que, por el contrario, son inertes las esculturas y salientes o apéndices de la membrana que ofrecen muchas células vegetales y animales (fig. 6), las espículas y caparazones frecuentemente de materia mineral, que segregan y dentro de las cuales se protegen y las cuales, en ocasiones, se constituyen por aglutinación de materiales extraños (fig. 7).

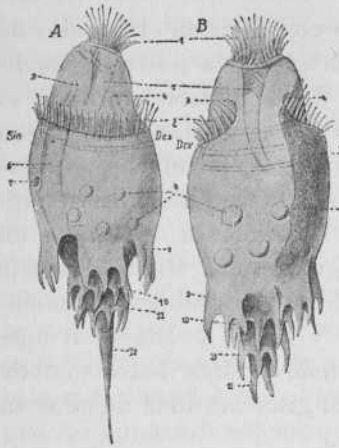


Fig. 6.

Extrañas prolongaciones de la membrana en un infusorio parásito *Ophryoscolex caudatus*. (De Eberlein.)

El núcleo es un corpúsculo en general único (células monoergidas), pero a veces pueden existir varios concrescentes o sueltos (células polienérgidas), contenido dentro de una película más o menos patente (membrana nuclear) y dentro de la cual, flotando en un líquido llamado jugo nuclear, existe una substancia característica que por teñirse fuertemente por ciertos colorantes (anilinas básicas), ha recibido el nombre de cromática, a la que acompaña otra substancia que queda incolora por la acción de dichos reactivos, la linina o acromática y la plastina, con gran afinidad por los colorantes ácidos, que forma una o varias masas redondeadas que constituyen los llamados *nucleolos,* propiamente dichos, y que no hay que confundir con los acumulos cromáticos, a los que suele darse este nombre. La estructura del núcleo es muy variable, sufriendo profundos cambios al avecinarse la multiplicación de la célula y que más adelante hemos de detallar, pero aun en los núcleos quiescentes hay grandes variaciones de conformación; así, en ciertos protistos la cro-

Fig. 7.

Caparazón formado por aglutinación de cuerpos extraños de un Protozoo sin membrana. *(Difflugia.)*

matina está reunida en un cuerpo central o cariósoma, rodeado de jugo nuclear, y a veces el cariósoma ofrece varios nucleolos visibles, frecuentemente la cromatina forma una verdadera red que enlaza gránulos o acumulos cromáticos o se ofrece en forma de ovillo, y no es raro que se distinga un sistema de vacuolas en el núcleo y aun en el nucleolo.

Modernamente se ha investigado con afán en el estudio de las propiedades físico-químicas de la célula, a pesar de las dificultades que tiene. La densidad de la materia viviente es algo superior a la del agua. Para *Paramaecium aurelia,* encontró Jensen determinando la densidad de la solución de carbonato potásico a la concentración en que ni flotaba ni se hundía, la de 1,25, pero como en tales condiciones se comete un error, pues el infusorio absorbe agua que le aligera, Kande Sakyos, ha hecho la investigación con goma arábiga, obteniendo valores que oscilan entre 1.0832 y 1.090, y Bresslau, operando con un turbelario (*Planaria lugubris*) cuya densidad obtenía picnométricamente introduciendo gran cantidad de ellos en el frasco de densidades, obtuvo 1.05.

Las propiedades protoplásmicas obedecen a su condición coloidal hasta el punto de que para ciertos autores las propiedades generales de la vida pueden reconocerse en la micela. La materia viva forma un sistema coloidal muy complejo, no sólo químicamente, sino por sus diversos grados de dispersión y por su continua transformación y mientras los albuminoides protoplásmicos por ser indializables resultan incapaces para atravesar la membrana celular; las substancias cristaloides del medio y los productos de excreción por su condición dializable la transpasan, con lo que se hace posible la captación continua de materiales del medio, que después de asimilados y sufrido el ciclo de evolución, quedan transformados y en condiciones de expulsión.

Se ha debatido mucho la cuestión desde que Pfluger le presentó, de si la albúmina viva era igual químicamente a la albúmina muerta o existían diferencias entre ambas, que explicarían que el protoplasma se condujese de manera distinta viviendo que cuando está privado de vida. Para Pfluger esta diferencia residiría en que la albúmina viva posee el radical cianógeno, procedente de la deshidratación del grupo amídico $CO\ NH_2$

mientras que Loew, basándose en que todos los reactivos que atacan a los aldehidos y bases primarias, son venenos del protoplasma vivo, mientras que no ejercen acción alguna sobre la albúmina muerta, supone que la viviente posee los grupos aldehídico y COH y amidígeno $CONH_2$, que se saturarían recíprocamente al morir, y como por su condición monovalente han de estar en extremo de cadena, al saturarse la cierran de forma que según Pictet la muerte sería un fenómeno de ciclización de las moléculas albuminoideas que quedarían estabilizadas perdiendo las cualidades vitales para venir a ser pasto de los microorganismos de la putrefacción que destruyendo la molécula la pondría en condiciones de volver a formar parte de un edificio viviente. Contra esta ingeniosa explicación, así como contra las que suponen que es de orden estereoquímica, otros autores admiten que no existe diferencia química entre la materia viva y la muerta, y que, por tanto, no puede hablarse de albúmina viva y de albúmina muerta, como no puede hablarse de lipoides de glucosas o de grasas vivas o muertas ya que ninguna diferencias química habría entre la materia viva y la muerta; así Rocasolano admite que siendo el protoplasma un complejo sistema coloidal, la diferencia entre el protoplasma vivo y muerto es de orden físico-químico y que la muerte es sencillamente un proceso de estabilización de las reacciones vitales por el paso del estado dinámico de hidrosol al estado de hidrogel, y por eso toda acción física o química coagulante determina la muerte del protoplasma. En los organismos superiores basta que sucumba alguna parte esencial, para que muera el conjunto en virtud de la solidaridad funcional.

Un interés especial en la actividad celular tienen sus propiedades osmóticas que derivan de la atracción que existe entre el agua disolvente y las moléculas disueltas en ella, en virtud de la cual, si una disolución se pone en contacto con agua pura las moléculas disueltas se desplazan originando el fenómeno llamado difusión, que se opera también cuando ambos líquidos están separados por un tabique poroso que se deja mojar, aunque más trabajosamente en relación con la naturaleza de la membrana. Si dos recipientes, uno conteniendo agua y otro la disolución están separados por una membrana de las llamadas semipermeables porque se dejan atravesar por el agua pero no por el disol-

vente, el agua pura pasa a diluir la disolución y el nivel de ésta sube, pero este ascenso no mide la presión osmótica inicial puesto que la solución se diluye, mas si nosotros comprimimos la solución, el agua repasa de nuevo la membrana y la fuerza que hemos opuesto a la presión osmótica serán en cada momento igual y de signo contrario a ella, siendo el valor inicial de la presión osmótica el mismo que el de la presión que es preciso ejercer para que la disolución recupere su nivel. Esta presión osmótica es para una misma disolución proporcional a la concentración de la disolución si se trata de cuerpos no ionizables y cualquiera que sea la substancia a la concentración molecular y a la temperatura absoluta ($t + 273$), por lo que a la misma temperatura las soluciones equimoleculares son isotómicas, es decir, tienen la misma presión osmótica, llamándose a la menos concentrada hipotónica y a la más hipertónica.

En realidad no existen membranas completamente semipermeables y todas ellas se dejan atravesar por todas las substancias disueltas en mayor o menor cantidad, según la naturaleza de unas y otras, admitiéndose que las substancias atraviesan las membranas después de una acción físico-química de adherencia a ella y en razón a su capacidad para ésta, lo que explica no solamente la diferente aptitud de las membranas para dejarse atravesar por substancias diversas, sino también el que si se separa agua y alcohol por una vejiga, el agua que la moja va hacia el alcohol que no la moja, mientras que si la membrana es de goma ocurre todo lo contrario.

Las células muestran una presión osmótica considerable de 5 a 20 atmósferas y a veces hasta 150, en las que poseen vacuolas y una membrana resistente. Si se sumerge una de estas células en disoluciones cada vez más hipotónicas se hincha, fenómeno denominado turgescencia, por la absorción de agua agrandándose sus vacuolas que comprimen el protoplasma contra la pared celular, la cual se abomba hasta explotar. Esta turgescencia se observa bien en los granos de polen en los que la cubierta rígida exterior o exina ofrece poros por los que la interna flexible o íntima hace hernia hasta formarse el llamado tubo polímico. Por el contrario, cuando una célula está sumergida en un medio hipertónico pierde agua pudiendo observarse en las células de membrana rígida como las vegetales adultas en que

la pared celular es firme, cómo se empequeñecen las vacuolas arrastrando al protoplasma que se despega de la pared (fig. 8), contrayéndose en el interior y pudiéndose medir la presión osmótica de la célula, por la de la disolución, en que el protoplasma comienza a despegarse.

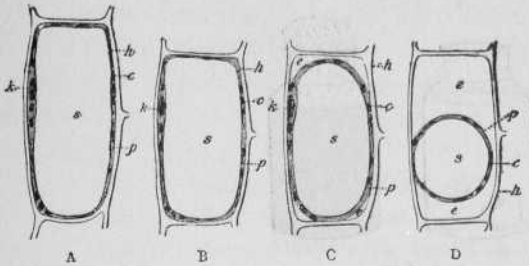


Fig. 8.

Experimento De Vries sobre la plasmolisis de las célululas 1, célula normal vieja como muestra su gruesa membrana *h* y el jugo celular congregado en una gran vacuola central *s* que deja al protoplasma y al núcleo *k* relegados a la periferia; 2, la misma célula sumida en una disolución acuosa de nitro al 4 °/₀; 3, ídem con disolución al 6 °/₀, mostrando al comienzo de la plasmolisis; 4, ídem completamente plasmolizada por una disolución al 10 °/₀.

Estas experiencias, prueban la semipermeabilidad de la membrana celular, que, desde luego, no es absoluta como ya hemos indicado y aun con carácter relativo, exige la integridad de ella.

Así la hemoglobina que contienen los glóbulos rojos no se difunde en el plasma sanguíneo que es incoloro, pero basta la adición de un veneno como el de la serpiente de anteojos, que obra destruyendo la estructura de la periferia celular para que se difunda. De la misma manera cita Massart el caso de la raiz de *Cochlearia armoracia,* la cual cuando se la pica o se la corta en lonchas, desprende un fuerte olor picante a esencia de mostaza o isosulfocianato de alilo, el cual se produce por la descomposición del mironato potásico, según la siguiente reacción

$$\underset{\text{mironato potásico}}{C_{10}H_{18}NKS_2O_{10}} = \underset{\text{isosulfocianato de alilo}}{C_2H_5NC_2S} + \underset{\text{glucosa}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{sulfato ácido de potasio}}{SO_4HK}$$

en presencia de su fermento desdoblante la mirosina, la cual reside en células especiales, mientras que el mironato potásico se haya en las células parenquimatosa normales, no pudiendo entrar ambas substancias en reacción, por lo que la raiz no presenta el menor olor, siendo preciso quebrantarla para que al romperse las células reaccionen, lo que prueba que ambas substancias no se difunden fuera de las células mientras éstas man-

tienen su integridad. Por la misma razón, las cerezasno pierden su color en el agua a la temperatura ordinaria, pero la tiñen si

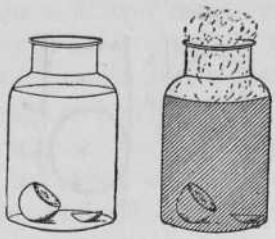


Fig. 9.

Experimento de Kolkwitz para probar que el pigmento rojo de las cerezas no se difunde fuera de las células sumergidas en aguas fría y sí en agua hirviente.

es hirviente, por que destruye las células que contienen el pigmento (fig. 9).

Muchas substancias que existen en las células, especialmente en las vegetales, que son particularmente ricas en materias a las que deben sus propiedades medicamentosas, están disueltas en el jugo celular y retenidas por la semipermeabilidad de la membrana celular.

LECCION 4.ª

FISIOLOGIA CELULAR

En la actividad de la materia viviente hay que distinguir tres clases de fenómenos, a saber: 1.º, su intercambio material con el medio (nutrición); 2.º, las reacciones a las excitaciones del medio (irritabilidad), y 3.º, la formación de nuevas células a expensas de las preexistentes (reproducción). La nutrición es uno de los fenómenos más característicos de la vida hasta el punto que se ha podido decir que vivir y nutrirse son palabras sinónimas. En esencia, el fenómeno de la nutrición consiste en un intercambio material incesante de la célula con el medio; en virtud de la cual, la materia viva está adueñándose de continuo de substancias del exterior, las cuales organiza e incorpora a su propia substancia, reemplazando con ellas el desgaste que de continuo sufre en su actividad. La nutrición consta, pues, de dos procesos opuestos, uno de organización de los materiales venidos de fuera llamados alimenticios que vienen a formar parte del edificio vital, y otro de desorganización continua de la materia propia que queda convertida en materiales de desecho por ser ya no sólo inútiles sino aun perjudiciales y que están destinados a ser expulsados al exterior. Distinguiremos, pues, en la nutrición las siguientes operaciones: *absorción* de los materiales alimenticios del medio a través de la capa pericelular, *circulación* de ellos en el interior del protoplasma para ponerse en contacto con todas sus partes, *asimilación* de estos materiales que vienen a formar parte de la trama vital, *desasimilación* o destrucción de la substancia viviente y *excreción* o expulsión al exterior de los materiales de desasimilación. El nombre de absorción se reserva para designar el ingreso de los materiales sólidos disueltos en el agua ambiente, mientras que la adquisi-

ción del oxígeno concomitante con la expulsión del anhídrido carbónico, recibe el nombre de *respiración,* función absolutamente general a toda materia viviente.

Cuando los materiales alimenticios se hallan disueltos en el agua que baña la célula, la nutrición es un fenómeno osmótico simplemente, pero muchas células están capacitadas para utilizar las partículas orgánicas que flotan en el medio que son atacadas y, en parte, al menos, solubilizadas por las substancias de excreción que segrega la célula, quedando en condiciones de ser absorbidas por osmosis y denominándose *digestión* a la operación en virtud de la cual las substancias destinadas a ser absorbidas y asimiladas, son previamente solubilizadas por la acción de los mismos seres. En todo caso, la absorción vemos es un fenómeno osmótico ya que en virtud de no ser absoluta la semipermeabilidad de la membrana, las substancias disueltas pueden penetrar en el interior de la célula y se admite que la aptitud para el ingreso de las diversas substancias depende de su grado de solubilidad en los lipoides pericelulares, explicándose de esta manera la misteriosa selección que la célula opera en cantidad y calidad de las substancias del medio que han de ser absorbidas, selección desde luego, ciega, ya que la célula lo mismo absorbe las substancias útiles para su vida que los venenos que la son fatales.

Las células verdes de los vegetales expuestas a la luz son capaces de asimilar substancias inorgánicas, realizando prodigiosas reacciones endotérmicas para fabricar la materia orgánica a expensas de la mineral, captando para ello la luz solar que es la fuente de energía con la que realizan tales síntesis, mediante un pigmento verde muy característico de las plantas llamado clorofila, residente, excepto en ciertas plantas inferiores, en corpúsculos plasmáticos llamados *cromatóforos* o *cuerpos clorofílicos* y también *cloroplastos.*

Puede extraerse la clorofila mediante la cocción de materiales vegetales verdes tratados por el alcohol hirviente en el que queda disuelta, comunicándole un color verde por refracción y rojo obscuro por reflexión. Esta clorofila no es una especie química, sino una mezcla de un hidrocarburo anaranjado, la carotina C_{40} H_{56} muy abundante aislado, no solamente en las plantas (raiz de zanahoria, fruto del tomate, etc.), sino en los

animales (yema de huevo, pigmento de los cangrejos, etc.), de un producto amarillo de su oxidación, la xantofila, que es el que comunica su color característico a las hojas secas, y la clorofila propiamente dicha mezcla de dos substancias análogas magnesíferas de muy compleja constitución química, la clorofila A, azul verdosa, y la clorofila B, verde amarillenta cuyas fórmulas respectivas son:

$$\text{Clorofila A } (Mg\ N_4\ C_{32}\ H_{30}\ O)\ CO_2\ CH_3\ CO_2\ C_{20}\ H_{39}$$
$$\text{Clorofila B } (Mg\ N_4\ C_{32}\ H_{28}\ O_2)\ CO_2\ CH_3\ CO_3\ C_{20}\ H_{39}$$

Contra lo que se había supuesto, no solamente la composición de la clorofila es igual para todas las plantas, sino que la proporción entre ambas clorofilas no es específica.

El espectro de la luz filtrada a través de una disolución de clorofila ofrece una serie de bandas de absorción, estrechas en el rojo y anaranjado y anchas del azul al violado, las cuales corresponden a las radiaciones absorbidas por la clorofila, que, como vemos, son preferentemente rojas y violetas, por lo que el conjunto de las emergentes componen una tinta verde.

La asimilación clorofiliana exigiendo la presencia de la luz para su realización, se suspende durante la noche y es imposible en los lugares tenebrosos, como las cuevas y aguas muy profundas, donde no pueden existir otra clase de vegetales que aquellos que, los que como los hongos y bacterias, no poseen nutrición clorofílica. Esta función se suspende también si se ilumina la planta con luz verde, es decir, con radiaciones impropias, puesto que no son absorbidas por la clorofila.

Los procedimientos para poner de relieve la función clorofila se describen en todos los libros de Botánica y prescindiremos por eso aquí de su descripción, limitándonos a poner de relieve que, aunque aparente, la fotosíntesis se reduce a una descomposición del anhídrido carbónico, en carbono que retiene la planta y oxígeno que desprende; puesto que no puede admitirse que el carbono libre quede en las células ni se acumule en ellas, se supone que hay una reacción entre el CO_2 y el agua, de la cual no puede resultar un hidrocarburo, ya que entonces la cantidad de oxígeno expulsado sería mayor que el anhídrido carbónico absorbido y no se verificaría que la relación de volúme-

nes $O_2/CO_2 = 1$, mientras que la igualdad de volúmenes de anhídrido carbónico absorbido y el oxígeno desprendido se corresponde bien con las ecuaciones que conducen a la formación de los hidratos de carbono que tan abundantes son en las células vegetales

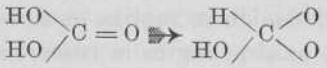
$$6\,CO_2 + 6\,H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$
$$6\,CO_2 + 5\,H_2O = C_6H_{10}O_5 + 6\,O_2$$

Las experiencias que prueban que la función clorofílica es correlativa de una producción de almidón, han conducido a considerar éste como el producto de dicha función, que vendría expresada por la segunda de las dos igualdades químicas enunciadas, pero el hecho de que existan células clorofílicas que no produzcan almidón y el que éste se forme también en tejidos no clorofílicos que disponen de azúcares, hace pensar que el almidón proviene de éstos y no ellos del almidón, siendo entonces la primera igualdad química la que representaría el fenómeno clorofílico y a expensas del azúcar formado, los cromatóforos, fabricarían el almidón; pero como bajo el punto de vista químico es poco verosímil que cuerpos relativamente tan complejos como los azúcares se formen directamente de la reacción del anhídrido carbónico y del agua, se viene admitiendo la hipótesis de Bayer, según la cual se formaría el aldehído fórmico, el más sencillo de todos los hidratos de carbono que, por polimerización, darían los demás, admitiéndose que, dada la gran analogía que existe entre la clorofila y la sangre, tendría una gran avidez por el oxígeno, por lo que obraría como reductora del anhídrido carbónico, originando el óxido de carbono en virtud de la energía radiante y éste actuaría sobre el agua originando el aldehído, fórmico.

$$CO_2 = CO + O$$
$$CO + H_2\,O = CH_2\,O + O$$
$$6\,CH_2\,O = C_6\,H_{12}\,O_6$$

Sin embargo, hasta ahora no ha podido ser probada la producción del aldehído fórmico, cuerpo por otra parte muy venenoso para el protoplasma, por lo que el fenómeno clorofílico

sigue siendo un arcano. Recientemente Willstäter ha emitido la opinión de la formación del peroxido fórmico isómero del ácido carbónico.



Las plantas inferiores (bacterias y cianoficeas), no poseen cromatóforos; en las primeras el pigmento asimilador llamado bacteriopurpurina está difundido en el protoplasma y otro tanto ocurre en las cianoficeas cuya clorofila está enmascarada por un pigmentos azul la ficocianina a lo que deben su coloración. Pigmentos que modifica la coloración característica de la clorofila se encuentra en los cromatóforos de otras algas, ya rojo, en las rodofíceas y ciertos flagelados, ya pardo, en los peridineos y feoficeas ya amarillo en los crisomonadidos y otros flagelados.

La fotosíntesis no es el único método de nutrición autótrofa, pues existen seres con la singular propiedad de nutrirse a expensas de la materia mineral en la obscuridad, utilizando la energía liberada en acciones químicas que provocan, por lo que este género de nutrición autótrofa ha recibido el nombre de quimiosíntesis. Así las bacterias nitrificantes, cuya acción tiene tanta importancia para la fertilización del terreno, no solamente no necesitan de las substancias orgánicas, sino que les perjudican hasta el punto de que materias tan inocuas como el azúcar, actúan sobre ellas como un veneno. Estas bacterias oxidan las materias amoniacales que resultan de la putrefacción bacteriana de las sustancias orgánicas nitrogenadas, transformándolas en ácido nitroso y después en ácido nítrico, los cuales, combinándose con los elementos del suelo, originan nitritos y nitratos que son utilizados por las plantas verdes. He aquí las reacciones:

$$2\,NH_3 + 3O_2 = 2\,NO_2\,H + 2\,H_2\,O$$
$$2\,NO_2 + O_2 = 2\,NO_3\,H$$

Las bacterias que producen la oxidación nitrosa pertenecen al género Nitrosomonas en el Antiguo continente y al Nitrococcus, en América, mientras que las de la oxidación nítrica son del género Nitrobacter.

De manera análoga las bacterias sulfurosas, que son acuáticas, obtienen la energía para su alimentación autótrofa, no de la luz solar, sino de la oxidación del ácido sulfhídrico que se origina de la descomposición bacteriana de los albuminoides sulfurados. Esta oxidación se realiza en dos tiempos, originándose primeramente azufre, según la reacción.

$$2\,SH_2 + O_2 = S_2 + 2\,H_2O$$

Tal es la causa de los depósitos de azufre sedimentario cuya procedencia orgánica es tan indudable que en Libros (Teruel), fosiliza caracoles acuáticos del género Planorbis. Pero en general, la oxidación continúa conduciendo al ácido sulfúrico

$$S_2 + 3\,O_2 + 2\,H_2O = 2\,SO_4\,H_2$$

que engendra sulfatos y principalmente yeso ($SO_4\,Ca\,.\,2\,H_2O$).

A las bacterias cuya nutrición autrofa se realiza con un manantial de energía química corresponden las ferruginosas que originan el hierro de los pantanos, variedad de limonita de origen orgánico. Estas actúan sobre las aguas cargadas de carbonato ferroso, depositando el hidrato de hierro coloidal como una vaina que envuelve la bacteria cual es el caso en *Leptothrix ochracea* que se desarrolla con tal actividad en las aguas favorables que las hace objeto de explotación para la obtención del hierro. La reacción es como sigue:

$$2\,CO_3\,Fe + 3\,H_2O + O = Fe_2\,O_6\,H_6 + 2\,CO_2$$

Otros organismos ya hidrogenantes como *Hydrogenomonas nitrea* e *H. flava,* pueden aún citarse entre los seres autótrofos quimiosintéticos, así como *Bacterium methanicum,* que oxida el óxido de carbono.

Para la síntesis autótrofa los demás elementos son tomados disueltos en el agua, no en la proporción en que existen, sino de una manera selectiva, constituyendo el aporte artificial de los más necesarios el fundamento de la práctica de los abonos. Mas por lo que se refiere al nitrógeno, el elemento que con el car-

bono de la función clorofílica y los dos del agua, es más necesario a las plantas, el terreno se agotaría pronto de nitratos y sales amoniacales que le contienen, y consumida esta provisión, la vegetación sería incapaz de prosperar si no fuese porque los organismos nitrificantes se encargan de continuo de fabricar los nitritos y nitratos a expensas de la materia orgánica de las excreciones y partes muertas que de continuo vuelven al suelo. Por otra parte, es ya bien sabido que existen seres que tienen la propiedad de utilizar el nitrógeno atmosférico; estos microorganismos nunca autótrofos viven en el terreno y en el agua, existiendo unos aerobios y otros anaerobios, y entre ellos algunos entran en simbiosis con las plantas superiores como las leguminosas en nuestros climas y las rubiáceas en los tropicales. El enriquecimiento de nitrógeno del suelo mediante cultivos de leguminosas, es de antiguo sospechado y constituye la práctica de la rotación o alternativas de cosechas. Se había, en efecto, observado que estas plantas son fertilizantes, hasta que se vió que las nudosidades que estas yerbas ofrecen en las raíces, contienen en simbiosis los organismos que fijan el nitrógeno del aire *(Bacillus radicícola)*. El poder fertilizante del estiércol, tan de antiguo empíricamente demostrado, se explica hoy día no precisamente por los elementos químicos que contiene, sino por ser un gran cultivo de microbios tan indispensables que una tierra aséptica no tardaría en ser inhabitable.

Los seres que no pueden nutrirse de una manera autótrofa han de vivir a expensas de materia orgánica. Se dice corrientemente que el mundo heterótrofo es parásito del autótrofo y que el manantial de la vida estriba en el fenómeno clorofílico, mediante el cual se organiza la materia orgánica a expensas del mundo mineral, almacenándose toda la energía que la vida despliega; pero es preciso tener en cuenta que una verdadera simbiosis o beneficio recíproco existe entre ambas clases de seres, desde el momento que los seres autótrofos prosperan gracias al nitrógeno que les proporcionan seres heterótrofos. De todas formas, los vegetales clorofílicos, organizando la materia muerta, fabrican la materia orgánica, elaborando así el sostén de la vida heterótrofa. Pero esta materia orgánica, antes de pasar a otro ser, ha de ser desdoblada y hecha soluble, es decir, digerida, y de esta forma los seres vegetarianos fabrican su substancia de

materia autótrofa y los carnívoros de seres vegetarianos; de forma que, en último caso, toda la materia viva sale de las plantas verdes. Así, la yerba es transformada en substancia de cordero, por ejemplo, la cual, comida por un lobo, será transformada en substancia de lobo, materias todas diferentes que tienen su origen en la materia del terreno y de la atmósfera absorbida por la yerba. Por la propia razón, la energía desplegada por un león al saltar ágilmente sobre su víctima, no es más que la energía solar liberada, y que fué captada por plantas verdes.

La digestión de los alimentos orgánicos por las células heterótrofas es realizada en virtud de la acción química que sobre ellos ejercen las substancias excretadas por la célula y como la acción de éstas es tanto más enérgica cuanto mayor es su concentración, ciertas células, especialmente las que se alimentan de partículas vivientes, tienen la facultad de englobarlas formando la llamada vacuola digestiva (Fig. 10) donde la partícula orgánica atacada por los jugos digestivos elaborados por la misma célula es parcialmente digerida, absorbiéndose la parte solubilizada y arrojándose la parte excrementicia insoluble por explosión de la vacuola. La formación de la vacuola digestiva exige un protoplasma desnudo o una membrana celular perforada. Las células heterótrofas, con recia cubierta de los vegetales, no necesitan formar vacuolas digestivas puesto que viven a expensas del medio interno que posee disueltas las substancias destinadas a ser absorbidas y de aquí que en las células heterótrofas se distingan dos modos de nutrición: la vacuolar y la difusiva. Las células no clorofílicas de los vegetales verdes se nutren por modo difusivo a expensas de las materias elaboradas por sus compañeras autótrofas; pero como estas faltan en

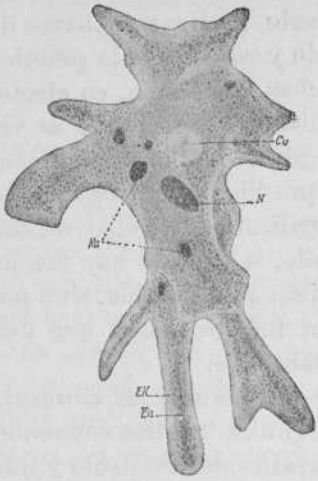


Fig. 10

Amaeba, ser unicelular sin membrana, mostrando sus prolongaciones protoplasmáticas o pseudópodos *Na* vacuolas digestivas, *Cv* vesícula pulsatil, *N* núcleo, *Ek* ectoplasma, *En* endoplasma.

los animales, sus células salvo en el caso de poder tener la nutrición vacuolar, han de alimentarse por el procedimiento difusivo de substancias ya digeridas, a cuyo fin los animales poseen una cavidad llamada digestiva porque en ella se opera la digestión de los alimentos que una vez solubilizados han de atravesar su pared para ser conducidos por el medio interno (sangre) a todas las células. La alimentación difusiva de las células animales trae, pues, como corolario, la existencia tan característica en ellos de la cavidad digestiva, la cual, aunque envuelta por el cuerpo es exterior a él constituyendo una dependencia del exterior como la vacuola digestiva es exterior al protoplasma, aunque envuelta por él de forma que las substancias en ella contenidas no están en el protoplasma hasta después de ser absorbidas, es decir, de haberla abandonado. En la pared digestiva se localizan células glandulares especializadas en la secreción de jugos digestivos que en las formas superiores se congregan en divertículos de la pared digestiva en cuya cavidad desembocan y que constituyen las llamadas glándulas digestivas (salivares, gástricas, intestinales, páncreas, hígado).

La absorción ofrece, pues, en los animales, dos tiempos: uno, la absorción digestiva merced a la cual las substancias digeridas pasan al interior del cuerpo atravesando la pared digestiva, difundiéndose por todo el organismo merced a la movilidad del medio interno que baña las células y un segundo tiempo de absorción celular mediante el cual las substancias pasan al protoplasma.

La cavidad digestiva, falta solamente en los animales parásitos que se alimentan a expensas de substancias digeridas por su huésped como es el caso de la tenia o solitaria, la cual absorbe por la piel (absorción cutánea). En los animales unicelulares libres, la alimentación es vacuolar, y en los parásitos, difusiva. En los pluricelulares más sencillos como las esponjas, la cavidad interna no tiene función digestiva, pues penetrando el medio externo por toda su masa, las células se alimentan por modo difusivo a expensas de ciertas células flagelíferas repartidas en el trayecto del agua, con nutrición vacuolar (coanocitos).

Aunque las plantas carecen en absoluto de cavidad digestiva, algunas de ellas, denominadas carnívoras, pertenecientes al

BIBLIOTECA PÚBLICA

orden Sarraceniales unas y a la familia Lentibulariáceas otras, están capacitadas para digerir pequeñas presas en virtud de curiosísimas adaptaciones que ofrecen sus hojas transformadas en verdaderos cepos con liga en las adaptadas a atrapar insectos cual es el caso de algunas yerbas de nuestro país, como *Drosera rotundifolia, Drosophyllum lusitanicum* y *Pinguicula vulgaris* y exóticas cual *Dionea muscipula, Darlingtonia californica* y *Sarracenia flava* de América *Nepentes destillatoria* de Ceylán y *Cephallotus folicularis* de Australia o en especies de garlitos en las acuáticas que pescan pequeños crustáceos como es el caso de nuestra *Utricularia vulgaris* y *Aldrovandia vesiculosa*.

Sea cualquiera el modo de nutrición, las materias absorbidas por la célula, se ponen en contacto con el protoplasma y después de difundirse por todo él, se incorporan a la materia viviente. Esta propiedad fundamental del protoplasma de incorporarse los materiales absorbidos, no ha sido, desde luego, satisfactoriamente explicada. Para Elsberg, se trata de un contagio de movimiento, es decir, de una verdadera inducción química, en virtud de la cual las moléculas recién llegadas bajo la influencia de las preexistentes toman su constitución química y modo de movimiento, organizándose, en suma, de una manera semejante a como las moléculas que vagan sueltas en el seno del agua madre en que se forma un cristal, quedan inmovilizadas al lado de las preexistentes al pasar junto al edificio cristalino retenidas con arreglo a su disposición, debiendo advertirse que, en la materia viva, la captura de moléculas no se verifica sólo en superficie como en el cristal, sino en toda la masa, lo que de antiguo viene señalándose como una diferencia esencial entre la nutrición del cristal y la de la materia viva, ya que el primero crece por yuxtaposición y la segunda por intususcepción. Para el profesor Rocasolano, de Zaragoza, en el complejo coloidal que constituye la parte más esencial de la materia viviente, la electrización de las micelas ejercería una influencia particular en los fenómenos de asimilación y desasimilación ya que ellas se unirán a unas u otras moléculas o a otras micelas según su carga eléctrica, lo que explica el misterioso carácter electivo del fenómeno de la asimilación, que quedaría reducido a un inestable equilibrio de cargas eléctricas de sentido contrario.

Parece, por otra parte, que el proceso asimilativo está en relación con la existencia de substancias mal conocidas, llamadas vitaminas, que parecen existir en los alimentos, porque el crecimiento, que es un resultado del predominio del proceso asimilativo o adquisitivo sobre el desasimilativo o destructivo, no se opera cuando los alimentos están desprovistos de ellas o se han destruído por el calor.

Desde luego, el quimismo de la nutrición parece exigir la interacción del protoplasma y el núcleo, pues se observa en los experimentos de merotomia celular que los fragmentos desnucleados, aunque al principio parecen continuar viviendo normalmente, bien pronto se echa de ver que la composición del protoplasma se modifica en ellos acabando por descomponerse mientras que los fragmentos que conservan el núcleo, no solamente siguen viviendo, sino que regeneran el protoplasma perdido. De esto parece inferirse que el núcleo es el órgano de la asimilación en el sentido de presidir el quimismo protoplásmico, actuando de regulador para mantener constante la composición del protoplasma gracias a lo cual se mantiene semejante a sí mismo, a través del tiempo, resultado fundamental de la asimilación.

Respecto al proceso desasimilativo mediante el cual la materia viviente se desgasta y desorganiza por su propia actividad engendrándose los productos de desecho, de composición muy simplificada y más o menos exhaustos de potencial químico, no es en el fondo más que una combustión, como ya demostró Lavoisiere a principios del siglo pasado; pues como ella exige un aporte continuo de oxígeno con liberación de energía que es utilizada en la actividad vital, con desprendimiento de anhídrido carbónico y producción de materiales de eliminación, que son verdaderas cenizas de la combustión orgánica. Por esto la función de la respiración, en virtud de la cual la materia viva, por medio de osmosis gaseosa absorbe de continuo oxígeno y elimina anhídrido carbónico, es un fenómeno absolutamente general en todos los seres vivientes, si bien en la vida autótrofa, y a una iluminación suficiente, esta función queda aparentemente anulada por el proceso asimilador opuesto más intenso que se traduce por la función clorofílica.

Lo mismo que para la nutrición en los animales superiores

existe un doble proceso respiratorio, en el primero el oxígeno, ambiente bien gaseoso, bien disuelto en el agua, es absorbido por la piel o por un aparato respiratorio, pasando al medio interno, que se desembaraza del anhídrido carbónico (respiración), y transportado el oxígeno a las células, se verifica entre ellas y el medio interno el cambio de gases (respiración celular).

Ciertos seres llamados anaerobios en oposición a los normales o aerobios, parecen no solamente no necesitar el oxígeno, sino serles fatal para su vida, pero no dejan por eso de respirar, pues utilizan el oxígeno que entra en la composición de las substancias orgánicas a cuyas expensas viven y cuya descomposición provocan. Como en algunos seres es facultativa la vida aerobia o anaerobia, cual es el caso de los mohos de la familia Mucoráceos, se ha pensado que la vida anaerobia es una adaptación de los seres obligados a vivir sin aire, habiéndose demostrado que las células de la raiz de remolacha, muy ricas en azúcar, colocadas en una atmósfera de un gas inerte como el nitrógeno resisten a la asfixia, mostrando después de esta prueba un olor a alcohol que demuestra que se han comportado como las del fermento anaerobio alcohólico, transformando el azúcar en ausencia del oxígeno y desprendiendo anhídrido carbónico.

Las células de los animales superiores viven también una vida asfíxica, ya que, bañadas por la sangre, habitan un medio privado de oxígeno, tomándolo en virtud de la descomposición que provocan de la oxihemoglobina que existe en ella.

Los productos de eliminación pueden irse desechando a medida que se producen, ya que su estancamiento en el protoplasma sería nocivo por su condición no ya sólo de inútiles, sino perjudiciales, pero en ocasiones la célula se desembaraza de ellos sin expulsarlos insolubilizándoles y en esta forma es frecuente encontrar inmovilizados en el interior de las células vegetales cuerpos tóxicos, como el ácido oxálico, en forma de cristales o agujas de oxalado cálcico. En ocasiones, los productos de desasimilación se acumulan disueltos en el interior de vesículas, que por estar acometidas de contracciones rítmicas se denominan pulsátiles a las que llegan por conductos vectores divergentes, hasta que, repletas, explotan de una manera análoga a la vacuola digestiva. En los seres superiores, formados de muchas células en las que la emisión directa de los produc-

tos de eliminación al medio no es posible, existe una función de excreción para depurar el medio interno de los productos de desecho, los cuales se almacenan en una vejiga urinaria para ser expulsados de una manera intermitente al exterior.

Llama la atención el que en el quimismo vital todos los procesos se realizan a débil temperatura y en medios casi neutros, mientras para realizarlos en el laboratorio a una velocidad análoga se precisan elevadas temperaturas y ácidos enérgicos. Depende esto de que las reacciones vitales son activadas por la presencia de catalizadores especiales llamados diastasas encimas o fermentos solubles, que parecen ofrecer ciertos caracteres vitales, cuales son el obrar a mínimas dosis el tener una actuación específica y destruirse por la temperatura, admitiéndose hoy que se trata de compuestos organometálicos coloidales.

Las acciones realizadas por la materia viviente carecen en absoluto de espontaneidad, siendo reacciones a las excitaciones del medio. Toda variación en las condiciones físicas o químicas del medio constituye un excitante y su acción acarrea modificaciones de los fenómenos de nutrición y así la función clorofílica está influenciada por los cambios de temperatura y de luz, la intensidad de la respiración depende de la temperatura, etc. Se admite que los excitantes obran modificando la velocidad de las reacciones vitales y así se ha probado que entre 0° y 25° la energía respiratoria está sometida a la ley de Van t' Hoff y que los movimientos de los pólipos hacia la luz son reglados por la ley de Bunsen y Roscoe. La irritabilidad se nos manifiesta, pues, como una propiedad general del protoplasma, en virtud del cual toda alteración de su equilibrio energético es restablecido mediante reacciones en consonancia con la naturaleza e intensidad del excitante.

Como las reacciones se traducen al exterior por producción de substancias y por cambios de lugar, se dice corrientemente que los organismos responden a las excitaciones del medio, mediante secreciones y movimientos. Estas reacciones reciben el nombre de reflejos. Ciertos autores admiten además, como respuestas al medio, las formatrices o proliferaciones provocadas o activadas por los excitantes.

Los excitantes, no solamente actúan sobre el movimiento y el crecimiento de los seres, sino que parecen dirigirles dicién-

dose que un ser ofrece tactismo positivo o negativo con respecto a un excitante, según su desplazamiento se opere en el sentido en que obra, pareciendo que atrae al ser, o en sentido contrario, como si se repeliera. Las modificaciones en la dirección del crecimiento se denominan tropismos, diciéndose también que son positivos o negativos, según el órgano crezca en dirección o en sentido opuesto al excitante y así se dice que los tallos tienen fototropismo positivo e hidrotropismo y geotropismo negativo. Las variaciones de dirección de los órganos producidos por los excitantes, sin relación con su dirección, se llaman nactismos cuando se trata de curvaturas y estrofismos, si de arrollamientos. En realidad, el fenómeno del tactismo resulta del hecho del que toda célula sometida por ambos lados a excitaciones distintas o de diferente intensidad, camina en el sentido de la atractiva, aunque sea contrario a la dirección normal de movimiento (fugireacción).

Para que se produzca una reacción, es preciso que el excitante tenga una determinada intensidad por debajo de la cual no actúa; esta intensidad puede ser tanto menor, cuanto mayor es el tiempo de acción y viceversa el tiempo de acción mínimo necesario para que se produzca reacción, es tanto menor cuanto mayor es la intensidad del excitante, puesto que el producto de la intensidad de un excitante por el tiempo de duración de su acción, tiene un valor mínimo para que produzca reacción, que es una constante específica para cada organismo y cada género de excitación.

Si la excitación se verifica de una manera intermitente, hay sensación desde el momento que la suma de las excitaciones por el tiempo adquieren el valor de la constante específica, pero a condición de que su espaciamiento sea menor que el tiempo de persistencia de la sensación que perdura siempre un cierto tiempo. Entre la intensidad e de la excitación y la de la sensación s, existe una relación que se expresa por la ley de Weber Fechner, según la cual

$$s = k \lg \frac{e}{q}$$

en la que k y q son dos constantes. Para $e = q$ se tendrá $s = 0$ es decir, que q representa la máxima impresión que no produce

reacción. Entre la intensidad mínima de la impresión que produce sensación y la máxima a partir de la cual tampoco hay reacción si la intensidad del excitante crece en progresión geométrica, la de la sensación crece en progresión aritmética.

La ley de Weber-Fechner se expresa también diciendo que la más mínima diferencia existente entre dos excitaciones que puede apreciarse, es proporcional a su intensidad y se llama *constante proporcional*.

El tiempo que transcurre entre el fin de la excitación y el comienzo de la reacción, decrece con la intensidad de aquélla y desde luego con el tiempo de acción. Este tiempo disminuye con el hábito a una determinada reacción, pero aumenta con la fatiga que resulta de su repetición excesiva. Cuando la reacción no se verifica, su capacidad para producir la reacción perdura un cierto tiempo que se denomina memoria, cuya duración crece con el tiempo de acción del excitante.

En los animales provistos de sistema nervioso las leyes del reflejo se cumplen. La excitación es percibida por células especiales adaptadas a la recepción de las excitaciones llamadas células sensoriales, las cuales yacen en órganos más o menos complicados para favorecer la recepción, denominados órganos de los sentidos y las cuales están en comunicación con los centros nerviosos por fibras denominadas centrípetas por la dirección en que son recorridas y también sensitivas, mientras que de dichos centros nerviosos parten los estímulos a las glándulas secretoras y a los órganos de movimiento activos (músculos) por fibras denominadas centrífugas y también motoras o secretoras.

Los movimientos que ofrecen los seres pueden ser de dos clases: los de contracción y los indirectos. Los movimientos que reconocen como causa la contractivilidad del protoplasma son, desde luego, los más importantes, y se clasifican en tres grupos, a saber: el movimiento por *pseudopodios,* por *ondulopodios* y el *muscular*.

El movimiento por pseudopodios o pseudópodos se ofrece en las células desprovistas de recia membrana, que impide las deformaciones protoplásmicas, como es el caso de los Rizópodos entre los Protozoos y en ciertas células especializadas de los seres pluricelulares, como los glóbulos blancos de la sangre, algunos espermatozoides, etc., y consiste en la emisión de pro-

longaciones del protoplasma, hacia las cuales es arrastrado éste, que camina lentamente en la dirección en que ha sido constituído el pseudópodo. Mientras éstos se formen en la misma dirección, la célula caminará según ella.

Los pseudópodos se muestran de una conformación muy variada, sirviendo las diferencias para caracterizar los grupos de Rizópodos. En los pseudópodos, llamados *lobopodios,* los prolongamientos son simples y relativamente cortos y gruesos, pero el movimiento puede ofrecer dos modalidades, a saber: el movimiento por fluidez y por rotación. En el primero, el ectoplasma parece menos consistente y se rompe en un determinado punto bajo la presión del endoplasma, que es proyectado hacia fuera, constituyéndose el pseudópodo, en el que la porción periférica toma los caracteres ectoplasmáticos y por la contracción del endoplasma se produce, no la retracción del pseudópodo, sino del cuerpo protoplásmico hacia él. En algunos casos, como *Amaeba limax,* el protoplasma muy flúido se comporta como si todo él fuese un pseudópodo. Los pseudópodos se adhieren al subestrato, sobre el cual camina el animal gracias a la condición pegajosa de su superficie, y en ciertos casos, es muy manifiesto que la célula sólo se sujeta con el extremo de los pseudópodos, por lo que éstos actúan como verdaderas patas, tal ocurre en *Amaeba proteus.* En *Amaeba verrucosa* se produce la modalidad rotatoria del movimiento amiboide, pues el ectoplasma, muy consistente, no se rompe bajo la presión del endoplasma, pero se desplaza, caminando la parte dorsal, invariablemente hacia adelante, mientras la ventral camina hacia atrás, lo que hace que la célula vaya dando vueltas.

Los *filopodios* son pseudópodos finos, radiantes, que se mantienen rígidos gracias a la presión del ectoplasma, que les constituye bajo el influjo de la presión endoplasmática, y que no difieren esencialmente de los lobopodios, ya que están enlazadas ambas formas por intermediarios. Modificaciones de ellos son los *rizopodios,* en que los filamentos, ramificándose abundantemente y anastomosándose, forman una intrincada red, y los *axopodios,* que son finos, simples y radiantes, pero se caracterizan por poseer un eje elástico, más consistente, resultado de la diferenciación del eje del filópodo.

La formación de los pseudópodos y el movimiento peculiar

amibóideo que originan, es explicado por algunos autores como resultado de los fenómenos de tensión superficial, muy grande en los protoplasmas que originan pseudópodos lobados y muy débil en los que producen pseudópodos filiformes, especialmente en los reticulados. Se ha visto una comprobación de esta opinión en ciertos experimentos que reproducen más o menos groseramente el movimiento amiboide. Así, haciendo emulsiones de aceite mezclado con carbonato potásico, las gotas puestas en agua muestran deformaciones y movimientos enteramente análogos a los amibóideos y corrientes axiales internas, compensadas con otras retrógradas en superficie, debido todo a la rotura de la película elástica que forma la periferia de todo líquido y que obliga a las gotas a tomar la forma esférica y a reaccionar cuando por la acción química es rota en un punto. Como en el movimiento por pseudópodos, en estos experimentos la velocidad depende también de la temperatura, pero, a pesar de todo, el movimiento amibóideo es demasiado complejo para poder ser explicado y reproducido por tan sencillos medios.

El movimiento por ondulopodios le ofrecen las células que disponen de elementos motores no fugaces, como los pseudópodos, sino permanentes, y cuyas vibraciones originan la progresión de las células. Existen, sin embargo, razones para sospechar que pseudopodios y ondulopodios no son cosas fundamentalmente distintas, sino que éstos derivan de aquéllos.

Los ondulopodios responden a uno de los dos tipos siguientes: o bien se trata de prolongamientos largos en escaso número, frecuentemente reducidos a uno solo, dotados de movimiento turnante, constituyendo los *flagelos,* o bien de prolongamientos cortos y muy numerosos, de movimiento agitante, que constituyen las *pestañas vibrátiles*..

Los flagelos (fig. 11) se presentan en seres unicelulares, llamados Flagelados por ofrecerlos, y en algunas células especializadas de los seres pluricelulares, como son los espermatozoides y anterozoides, así como en las células de las esponjas, llamadas coanocitos, y en las del endodermo de los Nidarios. En ciertas células epitélicas de Vertebrados se ha observado que el centrósoma ostenta un flagelo, merced al cual se mueve en el interior del protoplasma, por lo que se ha pensado que el corpúsculo basal que ofrecen los flagelos sea un centrósoma, así como el

que éste sea el centro quinético de la célula, y es curioso recordar que los pseudópodos de los Heliozoos, que son axopodios y representan por eso una transición de los pseudopodios a los ondulopodios, ofrecen sus ejes axiales convergentes en un grano central,

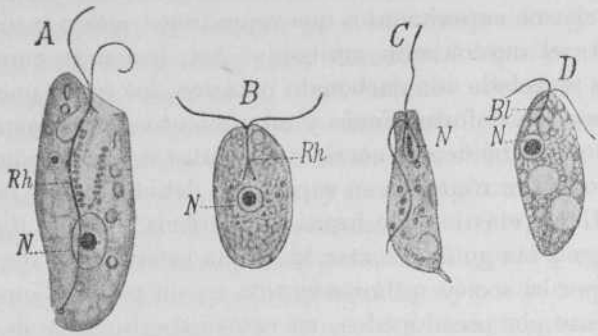


Fig. 11

Diversos modos de inserción del flagelo *N* núcleo, *Rh* rizoplasto, *Bl* blefaroblasto. *A* Chilomonas, *B* Polytoma, *C* Cercomonas, *D* Bodo. (De Prowazek.)

que se mira como un centrósoma, así como el que las pestañas vibrátiles de células, como las epitélicas, que carecen de centrósoma, ofrezcan un corpúsculo basal en el arranque de cada cirro.

En ciertos flagelados, el flagelo se prolonga por el interior del protoplasma en un largo filamento o rizostilo, en otros arranca por un filamento o rizoplasto de las proximidades del núcleo, y a veces de él mismo, y en ocasiones su inserción está en una masa cromática el llamado blefaroblasto, pero en todo caso es frecuente que en su punto de arranque haya un pequeño gránulo denominado corpúsculo basal. Cuando existen dos flagelos, uno de ellos está en ciertas formas aplicado al cuerpo y forma una especie de orla llamada membrana ondulante como es el caso en *Trypanosoma.*

El movimiento de las células flagelíferas se verifica en virtud de la agitación del flagelo que describe un cono impulsando a la célula en la dirección en que está inserto, pero al mismo tiempo la inclina y la hace girar obligándola a una progresión no rectilínea sino helicoidal como la de un tornillo.

Las pestañas vibrátiles erizan el cuerpo celular de los infusorios y la cara libre de diversas células de los metazoarios

como las de ciertos epitelios (epitelio vibrátil del aparato respiratorio de los animales superiores, epitelio tegumentario de los gusanos Turbelarios). Consisten en pequeñas prolongaciones muy numerosas que por su vibración producen el movimiento de las células y aun de los pequeños animales que nadan en virtud de su revestimiento pestañoso, cual es el caso de los Rotíferos y Turbelarios, o para la renovación del agua, ambiente o de los líquidos que las impregnan en los epitelios branquiales y de la tráquea, respectivamente.

Fig. 12

Paramaecium caudatum Infusorio Holótrico. *K* núcleo, *NK* Micronúcleo, *C* citofaringe, *N* vacuola digestiva, *Cv* vesícula contractil. (De Doflein.)

Las pestañas vibrátiles surgen alineadas en surcos y a veces cada cirro arranca de una fossita exágona como es el caso de *Paramaecium* (figs. 12 y 13), ofreciendo sendos gránulos en su base enfundada en el protoplasma, y a veces prolongada en él como un verdadero rizoplasto. En ocasiones, las pestañas de la misma fila o de varias filas adyacentes, están reunidas formando lo que se llaman membranelas y membranas ondulantes, cuya constitución pestañosa, aun cuando no estén sueltas las pestañas, es delatada por las series de corpúsculos basales. También ciertas pestañas muy fuertes llamadas cirros y con las cuales andan algunos infusorios, están formadas por la aglutinación de pestañas en pincel, como lo prueba el que en su base hay diversos corpúsculos basales agrupados pero independientes.

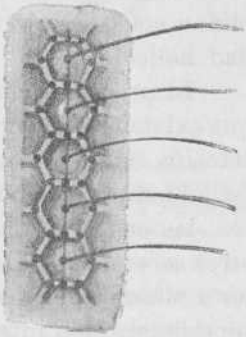


Fig. 13

Fragmento de la superficie de *Paramaecium aurelia* mostrando las fosetas exagonales de las que arrancan sendas pestañas, y en los bordes de cada foseta ocho tricocistos. (De Bütschli.)

La natación por medio de pestañas vibrátiles es causada por la vibración de éstas que oscilan en un plano impulsando a la célula en opuesto sentido a la dirección en que se abaten, bien

que temporalmente en los casos de fugireacción pueden batir en sentido opuesto, produciendo entonces la impulsión en sentido contrario al que normalmente producen. El movimiento de las pestañas no es independiente sino coordinado de forma que en todas las de la misma serie es sincrónico, es decir, se verifica al mismo tiempo, transmitiéndose a lo largo de las columnas con un retraso de fase, por lo que el conjunto de las pestañas, que vemos están distribuídas como las plantas, a marco real, dan la impresión de un campo de trigo agitado por el viento.

Como el plano de vibración de las pestañas vibrátiles se inclina un poco con relación al eje del animal, éste gira al mismo tiempo que avanza y como por otra parte los cirros que bordean el *citóstoma* o perforación de la membrana para la ingestión y la formación de la vacuola digestiva, son más enérgicos y le inclinan con respecto a la trayectoria rectilínea, ésta es en realidad helicoidal.

El procedimiento más generalizado del movimiento único que existe en los organismos animales superiores es el de la contracción muscular que es debido a la existencia de elementos especialmente acomodados a la contracción, las fibras musculares, las cuales forman membranas cutáneas en los gusanos y otros seres que se arrastran sin esqueleto o se asocian en paquetes o músculos en los seres que disponen de un esqueleto bien superficial, bien interno.

Entre los movimientos indirectos citemos, en primer lugar, los debidos a secreción de substancias por la célula. Esta secreción, apoyándose en el subestrato, la empujan provocando un característico movimiento que puede observarse en las Diatomeas, en las Conjugadas Desmidiáceas (fig. 14) y en las Gregarinas. En éstas la secreción sale en forma de multitud de filamentos gelatinosos que surgen por los surcos numerosos que ofrece su cutícula, mientras que en las Diatomeas emerge por el rafe en forma de un pedúnculo que empuja la célula. Como estas secreciones son por su transparencia, invisibles, si no se acude a procedimientos especiales que las delaten o pongan en evidencia el rastro, estos seres parecen deslizarse sin órgano de movimiento alguno.

Movimientos indirectos son también los verticales que ofrecen los seres acuáticos, en virtud de modificaciones de su peso específico, que reconocen como causa la producción de substan-

cias que actúan como flotadoras, tales como las burbujas de gases que ofrecen ciertas algas, como las Cianofíceas, algunos Protozoos (fig. 7), las gotas de grasa que actúan con este fin, así como de reservas alimenticias en los Crustáceos inferiores y especialmente en sus huevos, las secreciones gelatinosas, etc. Por el contrario, la disminución de estas substancias produce el aumento de peso específico del animal que se hunde, y de esta forma las emigraciones verticales que presentan ciertos seres y que son absolutamente pasivas, reconocen, como causa principal, estas fluctuaciones de su densidad. En ciertos seres superiores, la contracción de masas gaseosas modificando su volumen, sin variar el peso, son causa de la regulación de su peso específico, como es el caso de los peces, que pueden actuar muscularmente sobre su vejiga natatoria.

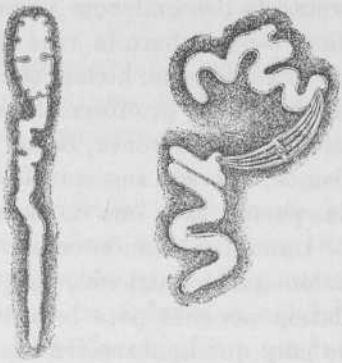


Fig. 14

Movimiento indirecto de las algas Conjugadas Desmidiaceas, por secreción de rastros gelatinosos. A *Euastrium*, B *Closterium*. (De Oltmanns.)

También son movimientos indirectos los debidos a la higroscopicidad (distensión brusca de los elaterios en las esporas en las hepáticas, dehiscencia de las anteras, etc), así como los que reconocen su causa en la turgescencia y plasmólisis de las células, que a veces se traducen por movimientos orgánicos en ciertas plantas superiores, como es el caso en la sensitiva, planta que eleva sus peciolos y extiende sus limbos compuestos, durante el día, y a la acción de los anestésicos, y se pliega por la noche y a la acción de un contacto.

Las experiencias de Pasteur, relativas a la esterilización, pusieron de relieve la falta de generación espontánea en los seres vivos en el sentido de que la vida presupone la vida, es decir, que siendo un fenómeno que no vemos comenzar, resulta siempre una continuación. En efecto, toda célula que no haya perdido, en virtud de una especialización exclusivista, la aptitud de procrear, es capaz de originar otras merced a un fenómeno de división, en virtud del cual, de una célula resultan dos semejantes entre sí, y a la que las dió lugar, aunque más

pequeñas, ya que su masa se ha repartido entre ambas, las cuales son susceptibles de crecer, hasta que, alcanzando el tamaño normal, vienen, a su vez, a ser capaces de dividirse y engendrar otras dos células. Si el intervalo entre las divisiones es corto, se comprende que, ascendiendo el número de células, según una progresión geométrica, cuya razón es dos, bien pronto la descendencia viene a ser tan considerable, que faltaría el espacio para la vida si la condición caduca y mortal de los seres vivos no hiciera se malograsen gran número de descendientes. Esta proliferación recibe el nombre de multiplicación celular, y se observa, como veremos también en muchos organismos, que son susceptibles también de partirse en una o varias partes, cada una de las cuales sigue viviendo.

La multiplicación celular se mira como un fenómeno en relación con la nutrición, ya que una determinada masa de protoplasma necesita para la nutrición de una determinada superficie para que la absorción sea suficiente a su nutrición, y como con el crecimiento el volumen de la célula crece mucho más rápidamente que la superficie, bien pronto ésta viene a ser insuficiente, siendo combatida la penuria de superficie con el alargamiento de la célula, su estrangulamiento, y, por último, su partición, fenómenos todos que van aumentando la superficie, dejando inalterable el volumen. La multiplicación no es, en suma, más que la propiedad del protoplasma de fragmentarse para seguir creciendo. La necesidad de una gran superficie para el protoplasma, explica la pequeñez de sus células.

Al lado de la multiplicación, las células ofrecen la propiedad de la conjugación, en virtud de la cual dos células son capaces de fusionarse en una sola, capaz de multiplicarse activamente. Al alcance de esta conjugación parece ser, por un lado, restablecer la potencia multiplicativa, que para algunos autores se agotaría al fin, por la multiplicación continuada, el crear células más resistentes a la venida de circunstancias adversas, por lo que no es raro que se ofrezca cuando el medio presenta síntomas de desaparición de las condiciones de vida propicias, y sobre todo, el que por combinación de propiedades de células distintas, se originen nuevas células, que serán otros tantos ensayos de adaptación ante la evolución de las cualidades cósmicas del medio.

LECCION 5.ª

ASOCIACIONES CELULARES. RELACIONES ANATÓMICAS Y FUNCIONALES ENTRE LAS CÉLULAS DE UN MISMO ORGANISMO. DIFERENCIACIÓN CELULAR Y DIVISIÓN DEL TRABAJO FISIOLÓGICO. TEJIDOS

Hemos visto que en virtud de la propiedad proliferante de las células, una de éstas es capaz de producir un sinnúmero de ellas. Ahora bien, estas células resultantes pueden separarse una vez constituídas y los organismos se reducen a células sueltas, denominándose por ello unicelulares o bien quedar congregadas, constituyéndose acumulos de cantidades a veces enormes de células que forman los organismos pluricelulares. La distinción entre ambas categorías de seres no es tan fácil como a primera vista pudiera creerse, pues algunos seres unicelulares viven congregados en colonias más o menos numerosas de individuos, y por tanto, se precisa establecer un criterio de distinción entre las colonias de seres unicelulares y los seres pluricelulares que, en último resultado, no son tampoco otra cosa que colonias de individualidades celulares. En general, puede decirse que lo mismo que en las asociaciones de animales superiores, las colonias de Protozoos o con asociaciones familiares ya que todas las células de la asociación proceden de un tronco común, no habiéndose separado y éste es el caso más frecuente o bien se trata de un consorcio de individuos extraños que se avienen a una vida gregaria. Frecuentemente los individuos asociados lo están por una formación no viviente que les protege y enlaza, y en todo caso se admite que no hay diferencia entre los individuos asociados, los cuales se mantienen absolutamente semejantes, bien que en algunas colonias se establece ya una verdadera división entre individuos somáticos o normales y otros reproductores destinados a la perpetuación de la especie.

Por lo que se refiere a los organismos pluricelulares, no solamente se trata de asociaciones de células, sino que un verdadero reparto de papeles se establece entre ellas, en virtud del cual cada célula se especializa para un determinado fin, haciéndose especialmente apta para esta función y desdeñando las demás, que delega en sus coasociadas, en virtud de lo cual puede perder toda actitud para ellas. Esta especialización se traduce por una diversificación morfológica que hace que en los organismos pluricelulares existan diversas clases de células que difieren entre sí por su aspecto y por su función en la colectividad. Esta armónica diferenciación, en virtud de la cual toda célula se debe al conjunto y viene a ser en virtud de su propia especialización inepta para vivir sola, es lo que se conoce con el nombre de división del trabajo fisiológico.

Las relaciones entre las células asociadas no derivan solamente de su contigüidad sino que no es raro que existan verdaderas relaciones anatómicas, cuales son los plasmodesmos o cordones citoplásmicos que ponen en relación células adyacentes que al originarse por vía de división no se separaron por completo sino que quedaron como puentes intercelulares representados por finos cordones protoplásmicos que ponen en relación las células hermanas, de forma que el sér se comporta como una colosal célula polienérgida. En ocasiones, la relación entre los protoplasmas no se reduce a esto sino que falta toda separación entre las células componentes del cuerpo y así muchas algas macroscópicas, y relativamente diferenciadas las Sifonáceas, por ejemplo, ofrecen esta llamada estructura continua, es decir, que no son más que una enorme y muy diferenciada célula polienérgida.

En los organismos animales existen elementos destinados a establecer las relaciones interorgánicas, facilitando la unidad y la relación de toda célula por interna que sea con el medio exterior, tal es la misión de las células sanguíneas como intermediario trófico y de las células nerviosas como intermediario de las excitaciones. Todavía es preciso señalar otro importante elemento de interacción que son los emisarios químicos u hormonas que no son más que substancias segregadas por determinados elementos que actúan sobre la actividad de otros, aún muy alejados por ser vertidas al medio interno del organismo.

El conjunto de células semejantes por estar adaptadas a la misma función, constituye lo que se denomina un tejido. Los tejidos sólo existen en los seres pluricelulares y nunca pueden distinguirse en las colonias de unicelulares en las que sabemos que la división del trabajo fisiológico aún no se ha establecido. Se distinguen frecuentemente los verdaderos tejidos que procede de la multiplicación de células morfológicamente análogas, de los falsos tejidos que se constituyen por la asociación de células o por entrecruzamiento de filamentos como es el caso de las setas.

Los tejidos verdaderos de los vegetales, resultan todos de la diferenciación de un tejido primordial constituído por células jóvenes indiferenciadas, que proliferan rápidamente y constituyen el merístemo. A sus expensas se forma el tejido de sostén y el conductor que forma los haces libero leñosos, el tejido viviente fundamental o parenquima y la capa superficial de células cutinizadas en su cara externa no clorofílicas que constituye la epidermis. En ciertos vegetales, la diferenciación no va más lejos, pero en otros el tejido fundamental da lugar aún a otro tejido mecánico caracterizado por el espesamiento de las paredes de las células. En las plantas leñosas la diferenciación prosigue con la formación de los llamados tejidos secundarios que son el suberoso o corcho tejido de células muertas de pared espesada e impermeabilizada por la suberina, el parenquima secundario y el leño secundario.

En los animales, las diferenciaciones esenciales son: los epitelios que forman membranas que revisten el cuerpo y tapizan las cavidades interiores; a ellos, corresponde, por tanto, la piel cuya capa externa, viva y ciliada en los animales inferiores, pierde sus cirros que vienen a ser inútiles en los superiores, y por último, constituye una zona de células muertas de pared queratinizada (capa córnea) en los más superiores. Los tejidos esqueléticos, pues si los animales inferiores se limitan a segregar órganos duros (espiculas, caparazones, etc.), en los más superiores llegan a formar sólidos tejidos vivientes a pesar de su consistencia debida a la substancia intercelular, cual el caso de los Vertebrados (cartilaginoso y óseo). Por último, es preciso señalar en los animales aquellos tejidos, especialmente característicos, porque son el asiento de las funciones privativas

de ellos como son el muscular conjunto de elementos celulares alargados y muy modificados que, al encogerse, constituyen los órganos activos del movimiento, bien por sí solos o bien actuando sobre las piezas esqueléticas que a su función protectora agregan ahora su actuación como órganos locomotores pasivos y el tejido nervioso destinado a relacionar el exterior con los elementos internos y a éstos entre sí, constituído por células con prolongamientos, unos cortos destinados a recibir las excitaciones del medio o de otras células con las que se enlazan por un eje que trasmite el impulso nervioso hasta su terminación o arborización terminal que se relacionara con las dendritas de otra célula nerviosa, o, por último, con una célula muscular o glandular por lo que una excitación superficial puede ser transformada en un movimiento o secreción, fenómeno que constituye lo que llamamos un reflejo. La existencia intercalada en esta vía de acumulos de tejido nervioso que constituyen los centros nerviosos, permite almacenar las impresiones y producir reacciones sin un estímulo previo inmediato indispensable.

El sistema nervioso, permitiendo reaccionar a los animales ante los estímulos hace que éstos ofrezcan tropismos como las células. La situación simétrica de los órganos receptores de las excitaciones llamados corrientemente órganos de los sentidos, así como de los órganos de reacción junto con la del sistema nervioso, permite explicar, según J. Loeb, los tropismos animales. Según su teoría, en las neuronas receptoras existirían substancias que se descompondrían por los excitantes, los cuales darían lugar a la excitación, que, trasmitida por medio de las fibras nerviosas a grupos simétricos de músculos, hace que la impresión trasmitida a ellos provocara su contracción. Si, por ejemplo, un ser recibe una impresión luminosa de frente, siendo la impresión igual en los dos ojos, el efecto será el mismo en los músculos simétricos y su contracción producirá el movimiento en la dirección del excitante. Si la luz incide oblicuamente sobre el animal, la reacción fotoquímica será desigual para cada ojo y la excitación en los músculos simétricos desigual, de lo que resultará un cambio de dirección del movimiento. Este cambio origina el giro en un sentido o en otro, según el animal posea fototropismo positivo o negativo.

LECCION 6.ª

LA MULTIPLICACIÓN ASEXUAL

Los experimentos de merotomía celular nos han puesto de relieve que el protoplasma artificialmente fragmentado es capaz de seguir viviendo, a condición de que los fragmentos conserven parte de la substancia nuclear y sabemos también que, a consecuencia del desequilibrio nutricio, a que conduce el fenómeno de la asimilación por insuficiencia, cada vez mayor de la superficie disponible para el intercambio con el medio, las células son capaces de partirse espontáneamente, originándose dos células a expensas de la primitiva, las cuales, creciendo a su vez hasta alcanzar el tamaño de la que les engendra, son capaces, a su vez, de dividirse de nuevo, originándose así multitud de células semejantes que se divorcian una vez constituídas, constituyendo los organismos unicelulares o quedan juntas, formándose los consorcios pluricelulares. En todo caso, la división es el modo normal de proliferación de las células, pues todos los demás métodos de neoformación de células pueden reducirse en un último análisis a un acto de división.

En ciertos casos la división de la célula parece operarse sin que haya grandes modificaciones estructurales en el núcleo. Este se parte con anterioridad al protoplasma, situándose diametralmente los dos nuevos núcleos y estrangulándose entre ellos el protoplasma hasta constituirse dos nuevas células, entre las que ha quedado repartida la substancia de la primitiva. Este procedimiento de división celular recibe el nombre de división directa amitósica (fig. 15) y también fisiparidad o escisiparidad. Cuando la célula está dotada de fuerte cubierta inerte, ésta no participa de la actividad multiplicativa, por lo que el núcleo sufre una serie de divisiones, en virtud de las cuales se constituyen un gran número de células a cubierto de la pared

de la primitiva. Este caso de división múltiple (fig. 16), también llamada endógena, se designa frecuentemente con el nombre de esporulación, por llamarse esporas a las células resultantes que, una vez en libertad, proliferan abundantemente. A veces la división es desigual, partiéndose el núcleo de la célula primitiva en dos fragmentos desiguales, emigrando el más pequeño a la periferia de la célula, donde se va formando una especie de tumor o yema, que acaba por envolver al pequeño núcleo y por separarse del resto de la célula, con lo que quedan constituídas a expensas de la originaria dos

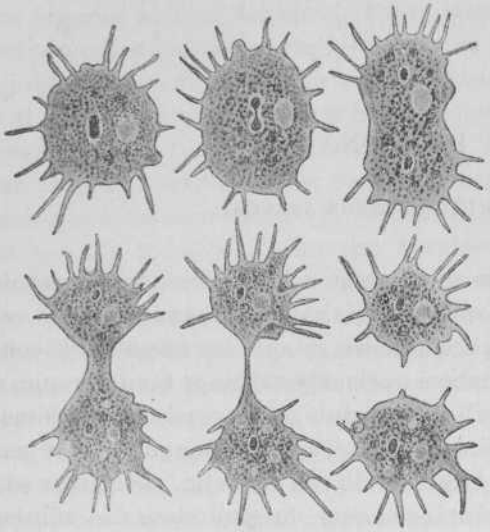


Fig. 15

División directa de la *Amaeba polypodia*. (Según F. E. Schulze.)

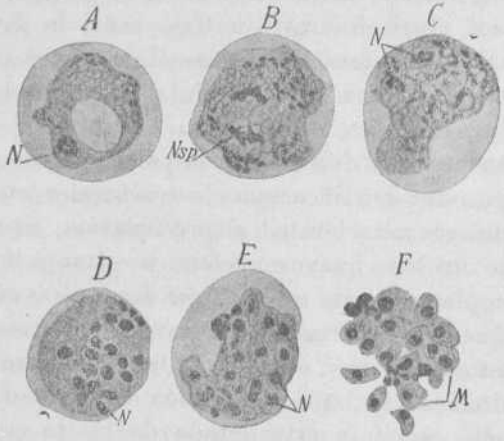


Fig. 16

División múltiple del *Plasmodium vivax* productor de la terciana en el interior de un glóbulo rojo de la sangre (según Schaudinn).

nuevas células, una mayor y otra más pequeña, procedimiento que denomina gemmación o gemmiparidad.

El procedimiento más general de multiplicación de las células y para algunos autores el único, pues los demás no serían más que variantes de él, es el de la división llamada indirecta mitósica o carioquinética, que produce la escisión celular acompañada de cambios estructurales curiosísimos del núcleo que vamos a detallar, en términos generales, haciendo omisión de las variantes que pueden observarse y que se enlazan por intermediarios con el plan general.

Aunque el fenómeno evolutivo que transforma una célula desde el estado quiescente hasta la partición completa en dos, es un proceso ininterrumpido, se acostumbra para facilitar su estudio a considerarle dividido en cuatro tiempos o fases, dos de ellas la profase y después la metafase progresivas, pues durante ellas la estructura de la célula se va apartando de la normal y a ellas siguen otras dos, la anafase y la telefase por último, que se denominan regresivas porque las dos células formadas evolucionan para tomar la estructura de la célula primitiva.

Profase.—La célula próxima a dividirse engruesa su armazón cromático, aumentando de talla su núcleo al mismo tiempo que el centrosoma se muestra más aparente, apareciendo más ostensible su esfera atractiva, el núcleo desaparece y los filamentos secundarios o de linina, cada vez más finos, acaban también por desaparecer; mientras el cromático (fig. 17), cada vez más recio y aparente, forma un ovillo, acodándose de forma que los codos quedan todos dirigidos hacia un espacio vacío de cromatina, el campo polar.

Metafase.—El filamento cromático acaba por partirse transversalmente en un cierto número de fragmentos, los cromosomas, cuyo número es característico para cada especie celular, engrosados y doblados en horquillas, al mismo tiempo que en el interior de la esfera atractiva el centrosoma se escinde en dos en el campo polar, los cuales se apartan y el aster o aureola protoplásmica de filamentos radiantes que rodea a la esfera atractiva se escinde en dos, enlazados por una banda de hebras que constituirá el huso central, al mismo tiempo que la membrana nuclear se desvanece. La separación de los dos centrosomas que se sitúan diametralmente opuestos hace que se alarguen los fila-

mentos del huso que los enlazan y los cuales, muy separados en su parte media, convergen en sus dos extremos, donde están los centrosomas orlados por sendos aster, al paso que los cromosomas o asas cromáticas se sitúan en el plano perpendicular, en su centro a la línea que une los centrosomas y que se denomina

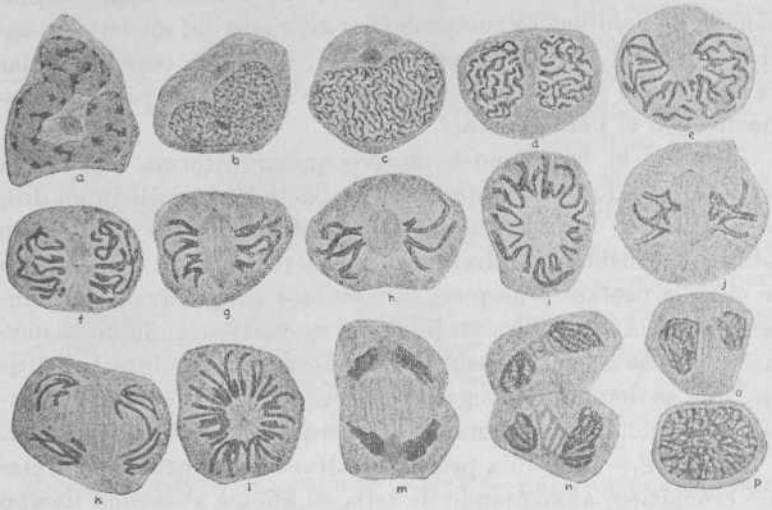


Fig. 17

Fases de la división carioquinética en los leucocitos del hígado de salamandra. *a-c, e, i, l* y *p* vistas polarmente y el resto de lado, *a* núcleo quiescente, *b-c* antes de la profase, *d* esbozo del huso acromático, *e f g* tránsito a la metafase, *h i* metafase, *j* principio y *k l* fin de la anafase, *m p* telefase. (De Bêlar en Hartmann.)

placa ecuatorial, en donde se disponen en derredor del centro con los codos vueltos hacia él. Esta placa ecuatorial define la superficie de separación de las dos futuras células.

Los cromosomas se escinden longitudinalmente, empezando la escisión por la parte acodada y progresando hacia los dos extremos libres, división que puede empezar a operarse aún antes de formarse la estrella madre que dibujan en el plano ecuatorial los cromosomas.

Anafase.—La escisión longitudinal de las horquillas da lugar a su duplicación partiendo cada media horquilla por los filamentos protoplasmáticos del huso a su centrosoma respectivo, como si dichos filamentos tiraran de ellas, especialmente los que se insertan en la parte acodada. A medida que se se-

paran los centrosomas de la placa ecuatorial, los filamentos centrales del huso que no se insertan en las horquillas, se van desvaneciendo, mientras se forman dos estrellas hijas en derredor de los centrosomas.

Telefase.—Mientras el huso va desapareciendo, dos membranas nucleares se forman en derredor de cada estrella hija, cuyas asas, independientes en principio, se sueldan para formar dos ovillos nucleares y, por último, tomar cada núcleo el aspecto de núcleo quiescente. Generalmente, éste toma forma de herradura o al menos ofrece una escotadura donde se aloja el centrosoma.

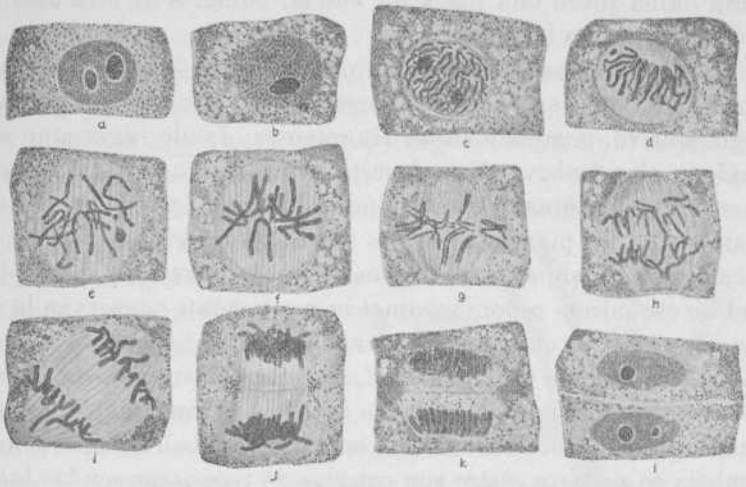


Fig. 18

División carioquinética en las células periféricas del meristemo terminal de la raíz de la cebolla. *a* núcleo quiescente, *b c* profase, *d* paso a la metafase, *e* comienzo y *f* cumplida ya la metafase, *g h i* anafase (en *i* nueva división longitudinal de los cromosomas), *j-l* telefase. (De Bêlar en Hartmann.)

Por último, la escisión del protoplasma se produce por la aparición de un tabique intermediario que comienza en los bordes y va estrechando en el centro un haz de filamentos protoplasmáticos, último residuo del huso acromático.

La interpretación de todos estos fenómenos es todavía muy obscura; algunos ven en el huso cromático la representación de líneas de fuerza, y desde luego es interesante además del número constante específico de cromosomas que vemos que por la partición de ellos se perpetúa, el hecho de su escisión longitudinal que parece responder a un fin de equidad, pues estando la

cromatina desigualmente distribuída a lo largo de los cromosomas, se conseguiría por este medio que las dos células resultantes heredaran el mismo lote cromático y parece, además, que no sólo el número, sino la forma se perpetúa y por tanto la personalidad de los cromosomas, pues siempre que existe un cromosoma, especialmente característico para una especie, ya por su forma o por sus dimensiones, se le reconoce en el curso de todas las carioquinesis. Algunos autores han conseguido imitar la carioquinesis, mediante experimentos como el de Leduc, que consiste en dejar caer una gota de disolución de gelatina teñida con tinta china sobre una placa de vidrio, cubierta de otra disolución de gelatina incolora.

Los organismos ofrecen también la reproducción asexual, puesto que son capaces de partirse y, en virtud de un proceso regenerativo, completarse los fragmentos, dando lugar a un ser análogo al primitivo. Esta facultad es tanto menos manifiesta cuanto más acentuada está la individualidad, por lo que muy marcada en las plantas y en los animales inferiores casi es ostensible en los superiores, los cuales jamás gozan de la propiedad de escindirse espontáneamente y solamente conservan la de regenerar partes cada vez de menos importancia cuanto mayor es su complicación orgánica. Así, una rama destacada de un árbol, no solamente no amenaza su integridad funcional, sino que puede, puesta en condiciones, regenerar otro árbol; si se parte una lombriz en pedazos, éstos son capaces de regenerar sendas lombrices; una estrella de mar mutilada no solamente regenera el brazo perdido, sino que el brazo, a su vez, regenera una estrella. Todavía en los artrópodos la supresión de un apéndice puede ser seguida de su regeneración, como es el caso en algunos Crustáceos (como las bocas de la isla de Cádiz, etc.) y en algunos insectos (fasmidos, etc.), pero el apéndice destacado no regenera un animal y de la misma manera en los vertebrados si se cortan a un pez las aletas y aun toda la cola puede regenerarla, y lo mismo ocurre en los lagartos, pero en los mamíferos, por ejemplo, la amputación de un miembro representa su pérdida y la facultad regenerativa queda muy limitada (soldadura de los huesos rotos, cicatrización de heridas, regeneración de sangre perdida en las hemorragias, etc.).

Espontáneamente muchos organismos unicelulares ofrecen

la multiplicación enteramente análoga a la de las células y también las pluricelulares pueden presentar la división o esquizogé-

Fig. 19

Microstomum lineare. Gusano del orden de los Turbelrales que ofrece la multiplicación por división. Cadena de 16 meridios.

nesis, la gemmación o blastogénesis y la división múltiple. Así, ena lgunos Turbelarios como *Microstomum lineare,* propios de las aguas dulces, aparecen estrangulamientos que se van acentuando, mientras la parte anterior del segmento terminal se diferencia de una manera análoga a la cabeza (fig. 19) hasta que, por último, el animal, queda escindido en dos, semejantes entre sí y al originario. El caso se ofrece también en ciertos anelidos, y constituyen una multiplicación por división generalmente transversa, pero a veces se origina por escisión longitudinal, como es el caso en ciertas actinias. Una verdadera división de operar en las plantas que se acodan naturalmente, como ocurre en la fresa.

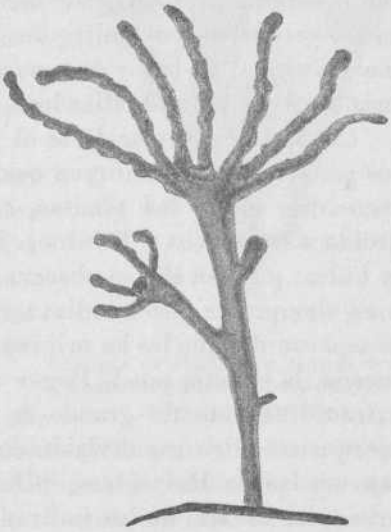


Fig. 20

Hydra viridis dando por gemmación otros individuos en diversos estados de desarrollo.

La producción de yemas se ofrece también en diversos organismos, así la hidra de agua dulce origina abultamientos laterales, que se van desenvolviendo y abriéndose en su extremo la boca y rodeándose de tentáculos se constituye una hidra semejante a la originaria, de la cual acaba por destacarse (fig. 20). También es una gemmación la producción de bulbillos, como acontece en *As-*

plenium bulbiferum, helecho que los origina en sus flondes en gran número y los cuales, separados, dan lugar a nuevos pies de planta.

Distomun hepaticum, gusano tremátodo parásito del hígado del carnero, ofrece en estado larvario una multiplicación asexuada, dando lugar en el interior de un caracol de agua dulce, al que parasitiza a gran número de individuos las redias, lo cual constituye una verdadera división múltiple. Las esponjas de agua dulce, al llegar la mala estación, se concretan en cuerpos esferoidales las gemmulas formadas de células que, disociándose a la vuelta de la estación favorable y fijándose, originan otras tantas nuevas esponjas, ofreciendo, por tanto, una verdadera esporulación, el cual es el procedimiento normal de propagación de las setas y de gran número de vegetales inferiores.

La multiplicación es el medio corriente de constitución de las formas coloniales formadas por subindividuos más o menos concrescentes, llamados meridios, cuya individualidad está, por tanto, esfumada en un grado menor o mayor. En efecto, un individuo primitivo, por multiplicación, va originando los diversos meridios que, en lugar de separarse, quedan juntos conviviendo más o menos individualizados.

Cuando la gemmación es el procedimiento de formación de los meridios, se constituyen colonias de aspecto ramificado que recuerdan el de las plantas, como es el caso en muchos Hidroídeos, Antozoos y Briozoos. El fenómeno es el mismo que en la hidra, pues en ella se observa la formación de pequeñas colonias, siempre de pocos individuos, ya que al fin de su desarrollo se separan del que les ha originado. En los seres en que esto no sucede, la colonia puede llegar a estar formada de un número extraordinariamente grande de meridios, y frecuentemente se opera entre ellos una división del trabajo fisiológico, como es el caso en las de Hidroídeos, Sifonoforos y Briozoos. Así, en los primeros, al lado de los individuos normales o gastromeridios, así llamados por ser nutritores, otros defensivos, que carecen de boca, están transformados en espinas para defenderlos y se llaman acantomeridios o poseen abundantes células urticantes, denominándose nematomeridios y también dactilomeridios cuando son muy movibles, y no faltan los reproductores que se encargan de originar por gemmación (gonomeridios), los indi-

viduos sexuales (gamomeridios), etc. Este polimorfismo se extiende, naturalmente, a las tecas de la envuelta dura o perisarco, protectora de la parte tubular de la colonia, que enlaza los subindividuos y que en ciertos Hidroídeos se extiende, protegiendo a los meridios, pues se distinguen las hidrotecas o gastrotecas, las nematotecas y las gonotecas (fig. 21).

La división múltiple, cuando se opera en el mismo sentido, conduce a colonias lineares como los estróbilos de los Acálefos, cada uno de cuyos artejos se van destacando conforme llega a ocupar el extremo apical originándoselas medusas libres desprendidas como vemos de individuos fijos que han sufrido una división múltiple en sentido transverso.

La división conduce también a formas coloniales así en el caso de *Microstomum lineare* Turbelario que hemos mencionado como ejemplo de esquizogénesis la bipartición del animal ocurre cuando ya una nueva división está esbozada en las dos mitades próximas a separarse, y a veces los cuatro meridios a su vez ofrecen un comienzo aún menos ostensible de su división, de manera que se encuentran ejemplares en los que más o menos esbozados existen 16 meridios (figura 19).

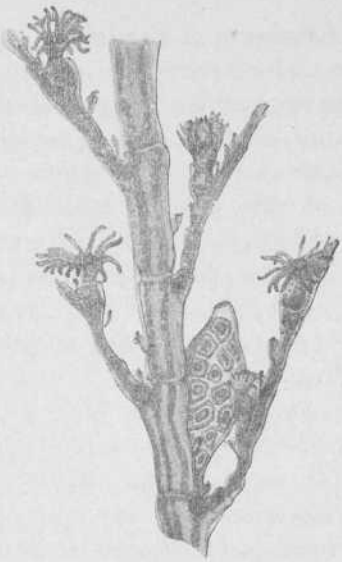


Fig. 21
Colonia de *Plumularia setacea* mostrando sus gastromeridios nematomeridios y gonomeridios.

Pero las colonias lineares de meridios no destinadas a separarse tienen un interés especial porque dan lugar a una individualidad de orden superior que es el animal metamérico cuya conformación ofrecen los Gusanos Moluscos Artrópodos y Vertebrados. En tales colonias, una concentración orgánica se opera entre los meridios que en este caso reciben el nombre de segmentos metámeros o zoonites, concentración no solamente morfológica que llega a borrar la apariencia segmentaria, sino anatómica, en virtud de la cual relacionándose los aparatos parciales de los meridios y concen-

trándose, se originan aparatos generales para toda la colonia. En las formas inferiores, los segmentos son todos semejantes y la segmentación se denomina homónoma, pero en las más evolucionadas, grupos de segmentos se diferencian de determinada manera, lo que permite distinguir en el cuerpo diferentes regiones diciéndose entonces que la segmentación es heterónoma. En muchos Gusanos y en los Onicóforos y Miriápodos, la homonomía es aún muy manifiesta, pero los Crustáceos y sobre todo los Cránidos, los Insectos y los Vertebrados, especialmente los superiores, son francamente heterónomos.

LECCIÓN 7.ª

LA REPRODUCCIÓN SEXUAL

Sabemos que las células ofrecen, además de la propiedad de la multiplicación, la de la conjugación, en virtud de la cual, uniéndose por parejas, son capaces de originar células que proceden de la fusión de dos progenitoras. Así en los seres unicelulares, la multiplicación da lugar a nuevos individuos unicelulares, pero el fenómeno no es indefinido, pues al cabo de un número variable de multiplicaciones, la actividad de ellos parece haberse agotado y esta senilidad solamente puede ser combatida mediante la conjugación de dos, con lo que se originan células aptas para multiplicarse activamente de nuevo. En los seres pluricelulares, la conjugación es el procedimiento de formación de nuevos individuos ya que la cèlula resultante de ella, multiplicándose activamente, da lugar a la multitud de células del cuerpo, de las cuales, ciertas de ellas, las llamadas células sexuales, están destinadas a conjugarse para la producción de nuevos individuos. Es verdad que en los seres pluricelulares inferiores, la multiplicación puede producir también individuos, y no es raro el fenómeno llamado generación alternante, en virtud del cual, individuos de origen sexual, dan por vía sexual otros individuos, pudiendo existir varias generaciones de éstos hasta que aparecen en ellos las células sexuales, operándose la conjugación que originará nuevos individuos de origen no vegetativo o multiplicativo, sino de origen sexual. En los Hidroídeos hemos visto que la reproducción asexual origina la multitud de subindividuos de la colonia, ciertos de los cuales, en virtud de la división del trabajo fisiológico que se opera y que trae como consecuencia el polimorfismo de los pólipos, se especializan en la función sexual (gamomeridios) y soltándose y produciendo las células sexuales, forman un individuo que por

multiplicación formará una nueva colonia. La larva libre de origen sexual es frecuente en los seres coloniales fijos como Antozoos, Esponjas, etc., en los que como en los Hidroídeos, la multiplicación aumenta el número de individuos concrescentes que forman la colonia, mientras la reproducción sexual aumenta el número de colonias y asegura su diseminación. Este es también el caso en muchas plantas; así la fresa, acodándose, da lugar a nuevas plantas próximas, de forma que la multiplicación origina aquí acumulos de individuos, pero además, éstos producen semillas que, soltándose, pueden ir a germinar a grandes distancias y fundar en otro sitio propicio apartado, otro conjunto de individuos.

En los seres superiores y especialmente en los animales, la formación de individuos nuevos está exclusivamente encomendado a la reproducción sexual. En efecto, la célula de origen sexual, multiplicándose, origina un enorme número de ellas que por no separarse quedan congregadas formando el cuerpo del animal, el cual destaca en su edad adulto las células sexuales destinadas a conjugarse y formar así una nueva célula, la llamada célula huevo que por proliferación multiplicativa engendrará un nuevo organismo.

Las células destinadas a conjugarse no son células corrientes sino especializadas para este fin y reciben el nombre de gámetos. Esta especialización consiste en esencia en perder a beneficio de especiales actos carioquinéticos la mitad de los cromósomas a fin de evitar la duplicación de ellos por la conjugación, consiguiéndose así que este número se mantenga, específicamente, constante en la sucesión de generaciones. De aquí la división de las células en dos categorías, unas llamadas diploides normales o vegetativas como son las que forman el cuerpo de los animales pluricelulares que poseen un número de cromósomas doble del de las llamadas haploides.

Los gámetos, además de su condición haploide, ofrecen el carácter llamado sexualidad de corresponder a una de las dos modalidades opuestas que ofrecen las dos células destinadas a conjugarse lo que les hace inaptos para la vida mientras no encuentran la célula antitética y reunidas originar las células diploides o completas y capaces de vivir. Es verdad que frecuentemente ambos gámetos ofrecen el mismo aspecto recibien-

do el nombre de isogámetos, pero cuando se ponen en presencia gran número de ellos, se observa, que mientras unos se repelen, otros, por el contrario, ofrecen un tactismo recíproco, positivo, que conduce a su aproximamiento y fusión. Esta observación demuestra que la sexualidad existe aun cuando en estos seres no sea aparente. Pero en los organismos superiores, las dos clases de gámetos antitéticos se especializan y divergen de forma y en la conjugación se dice que hay heterogamia, es decir, unión de gámetos distintos. De ellos, uno más pequeño por contener poco protoplasma alojando el heminúcleo y un centrósoma y poseyendo movimiento se denomina microgámeto o gámeto masculino, recibiendo en las plantas el nombre de anterozoide y de espermatozoide en los animales, al paso que el otro con abundante protoplasma englobando a veces enormes cantidades de reservas nutricias es inmóvil y posee también su heminúcleo, pero carece de centrosoma, recibiendo el nombre de macrogámeto o gámeto femenino, en las plantas de oosfera y en los animales de óvulo.

Cuando en un mismo organismo se producen ambas clases de gámetos, se dice que el ser es hermafrodita y también monoico, pero en los seres superiores la especialización alcanza también a los organismos, existiendo individuos machos que solamente son capaces de producir microgámetos y hembras o productores exclusivamente de macrogámetos, diciéndose de estos seres que son unisexuales.

Los órganos productores de los gámetos se denominan anteridios en las plantas inferiores, y anteras de los estambres en las superiores los destinados a producir microgámetos, mientras que los productores de macrogámetos se llaman arquegonios en las inferiores y óvulos en las superiores. En los animales se designan con el nombre de glándulas sexuales, aunque impropiamente llamándose, testículos a las masculinas y ovarios a las femeninas.

El hermafroditismo es muy común en las plantas, siendo lo frecuente en las fanerógamas que ambos gámetos se formen, no solamente en el mismo pie de planta, sino en el mismo órgano o flor, que se llama entonces hermafrodita, pero no es raro el caso de que las flores sean unisexuales, bien que ambas clases se encuentren en el mismo pie, recibiendo la planta la denomi-

nación de monoica. Las plantas unisexuales, es decir, que solamente producen flores de una clase habiendo pies machos y pies hembras, reciben el nombre especial de dióicas, que también se aplica a las plantas inferiores que sólo originan anteridios o arquegonios.

El hermafroditismo no presupone necesariamente la autofecundación, es decir, la conjugación de gámetos que provienen de un mismo individuo, la cual es la regla en las flores llamadas cleistogamas, que, como casi todas las leguminosas, no llegan nunca a abrirse completamente; pero en general, existen disposiciones anatómicas para impedirla, o bien, los gámetos no llegan coetáneamente a la madurez, distinguiéndose en este caso la protandria en que el individuo es primeramente macho y después hembra y la protoginia en que, por el contrario, actúa de joven, como hembra y después como macho.

Ciertos seres, aun siendo hermafroditas los individuos normales, presentan otros degenerados y sin glándulas genitales encargados de transportar los gámetos machos, recibiendo por eso el nombre de machos complementarios, como ocurre en los percebes. En las plantas, los insectos polinizadores juegan un papel análogo al de los machos complementarios.

Cuando los seres son dióicos o sea unisexuales, pueden diferir muy poco ambos sexos, siendo preciso para conocer si el individuo es macho o es hembra, recurrir a la anatomía de los órganos sexuales, pero aun en este caso, que es el normal en muchos peces, en las palomas, muchos insectos, etc., existen siempre diferencias más o menos apreciables que permiten distinguir los dos sexos, sin recurrir a su organización genital. Tales diferencias son en otros seres tan ostensibles, que se puede decir que dentro de cada especie hay dos formas distintas, por lo que el fenómeno se ha denominado dimorfismo sexual.

En ciertos casos los caracteres diferenciales de los sexos, tienen una cierta relación con la función genital, como es las mamas muy desarrolladas en las hembras de los mamíferos, la bolsa inguinal de las hembras, de los marsupiales, los taladros de las hembras de los insectos, las cámaras incubadoras que ofrecen las hembras en ciertos crustáceos o los machos en ciertos peces. En ocasiones los caracteres sexuales secundarios están en relación con la atracción sexual, como el aparato luminis-

cente de las hembras de los gusanos de luz con el que estos coleópteros apteros atraen a los machos que son alados, las antenas plumosas de los machos de las mariposas nocturnas que parecen ser delicadísimos órganos olfativos para percibir las emanaciones de las hembras, los aparatos de canto en los insectos y las aves. Pero otras veces las diferencias radican también en órganos que no parecen tener la menor eficiencia sexual o es muy remota (melena del león, diferencias de plumaje en las aves a veces muy grande (fig. 22), diferencias de coloración en cier-

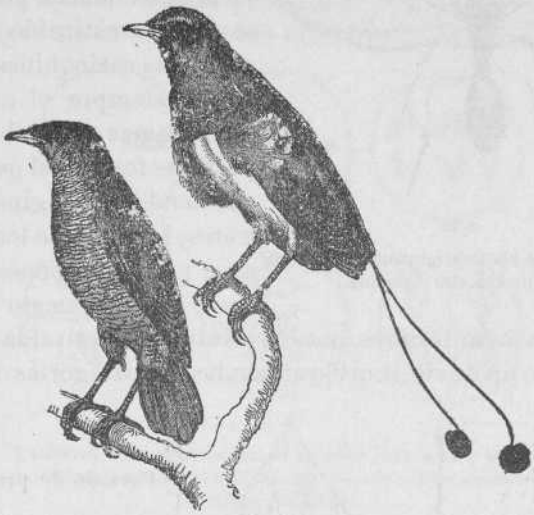


Fig. 22

Dimorfismo sexual de un ave del Paraíso.

tos insectos, desigual desarrollo de los órganos bucales en otros, cornamenta en los ciervos, etc.).

En ocasiones, existen hembras estériles como ocurre en las abejas dando lugar a un *polimorfismo sexual* que en el caso de las hormigas blancas está representado por cuatro formas, las hembras y machos fértiles, las hembras estériles u obreras y los machos estériles o soldados.

Muy curioso es el *ginandromorfismo* tan frecuente en los insectos (fig. 23) que ofrecen la mitad del cuerpo macho y la otra mitad hembra.

La formación de los gámetos se opera en los seres pluricelulares a expensas de ciertas células localizadas en los órganos

genitales. Estas células germinales pierden mediante un proceso llamado de maduración la mitad de los cromosomas viniendo a ser *haploides*, es decir, heminucleadas, mientras que las células del cuerpo o somáticas son *diploides*, es decir, contienen doble número de cromosomas que los gámetos. Parece, pues, que en estos organismos existen dos categorías de células, las que constituyen el cuerpo o *soma* destinadas a perecer, que se han constituído mediante sucesivas carioquinesis conservando siempre el número de cromosomas normal específico y las que forman el *germen*, que perdiendo al originar los gámetos, la mitad de los cromosomas, podrán después de fusionarse con el gámeto antitético sobrevivir a las anteriores, pues la célula así constituída dará multiplicándose un nuevo individuo con las dos categorías de células.

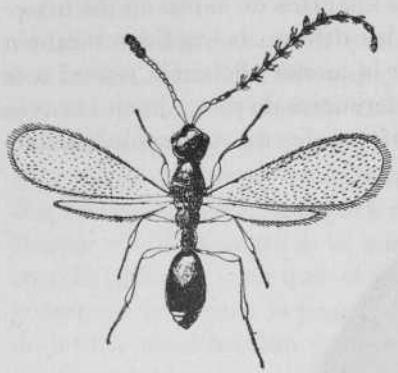


Fig. 23

Hermafroditismo bilateral (ginandromorfismo) en un insecto. (De Ceballos.)

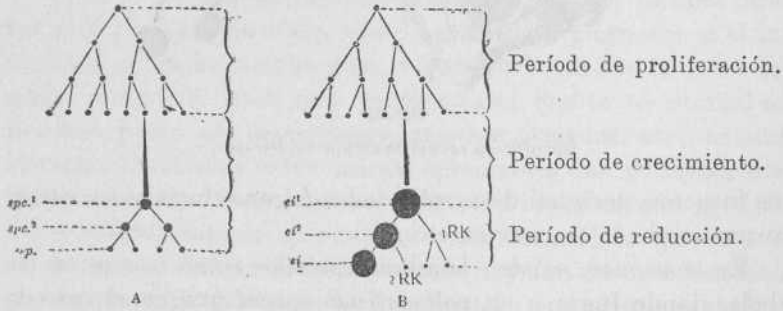


Fig. 24

Genealogía de la espermatogenesis (A) y de la oogenesis (B); *ei*1, oocito de primer orden; *ei*2, íd. de segundo orden; *ei*, huevo; 1RK, primer corpúsculo polar; 2RK, segundo corpúsculo polar; *spc*1, espermatocito de primer orden; *spc*2, íd. de segundo orden; *spc*, espermatozoides.

Las células germinales, después de un período de proliferación, durante el cual se multiplican activamente, forman un conjunto de células llamadas *oogonios* o *espermatogonios* según

que los gámetos que hayan de producir sean femeninos o masculinos, los cuales se transforman durante un segundo período llamado de crecimiento, porque durante él aumentan de volumen sin multiplicarse en *oocitos* y *espermatocitos*, respectivamente. Durante una tercera fase llamada reductora, estas células se transforman en gámetos mediante dos divisiones sucesivas que originan cuatro células y durante las cuales se opera la reducción cromática. A este fin, los cromosomas que parecen formar en toda célula diploide dos series homólogas se asocian por parejas, formando cada pareja dos cromosomas homólogos, uno de origen paterno y otro de abolengo materno (fig. 25), sol

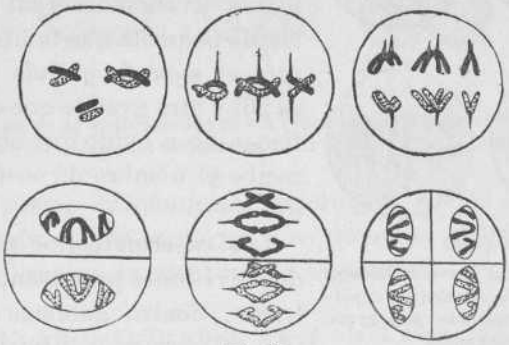


Fig. 25

Esquema de la sinapsis, de la división reductora y de la ecuacional, con la transformación de una célula diploide en cuatro haploides.

dándose tan íntimamente que al separarse de nuevo al escindirse longitudinalmente estos cromosomas dobles en la carioquinesis llamada reductora, han intercambiado frecuentemente cromiolos de forma que los cromosomas separados después de la fusión con entrelazamientos, tienen segmentos paternales y segmentos maternales, circunstancia que conviene no olvidar si se han de comprender ciertas particularidades de la herencia. De todas maneras la fusión de los cromosomas por parejas llamada *sinapsis* da lugar a que la carioquinesis separe ahora cromosomas completos, y por tanto, que el número de ellos quede reducido a la mitad que, escindiéndose en la nueva división que sobreviene, dará lugar a que se constituyan cuatro células haploides que son los gámetos (fig. 27).

El fenómeno de formación de los gámetos es un poco dife-

rente según se trate de los femeninos o los masculinos. En la formación de los primeros, cuyo crecimiento es mucho mayor que el de los espermatocitos se forman en virtud de la división reductora que es en los oocitos muy desigual, una célula grande llamada *oocito de segundo orden* y otra pequeña o primer *corpúsculo polar* que degenera antes de dividirse o se parte en dos pequeñas que desaparecen, mientras el oocito de segundo orden por una nueva división desigual origina una célula pequeña que también degenerará el *segundo glóbulo polar* (figura 26) y otra grande que es el gámeto femenino u óvulo que en las plantas recibe el nombre de oosfera u oogonio.

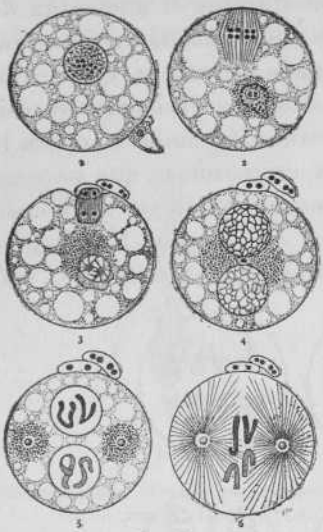


Fig. 26
Conjugación del huevo de *Ascaris megalocephala bivalens* y expulsión de los corpúsculos polares (de Golschmidt).

Los espermatocitos mediante las dos divisiones producen, por el contrario, cuatro gámetos masculinos (fig. 27), pues la división primera origina dos *espermatocitos de segundo orden* iguales, que partiéndose de nuevo originan, en fin, cuatro gámetos machos o espermatozoides llamados en las plantas anterozoides, móviles pequeños por no poseer casi protoplasma y con centrosoma.

Cuando las dos clases de gámetos están en presencia, se verifica la *fecundación* o *conjugación* de los dos gámetos (fig. 26), originando una célula cuyo protoplasma procede en su mayor parte del gámeto femenino, mientras el centrosoma es de procedencia paterna, y cuyo núcleo ya diploide ha recuperado el número normal de cromosomas por la fusión del heminúcleo masculino y femenino, célula primordial de un nuevo ser que en los animales recibe el nombre de *huevo* fecundado o sencillamente huevo y en las plantas de *gametóspora* para distinguirla de las células que tienen por objeto producir un nuevo ser, pero que no poseen un origen sexual denominadas esporas.

La constitución cromosómica de los gámetos puede variar siendo tanto mayor el número de variaciones posibles cuanto

mayor sea el número de cromosomas. Aun tratándose de una especie de poco número de cromosomas tal como el que muestra la figura 28, que poseen cuatro el número de clases de gámetos que se podrán constituir, será de 16. Sean, en efecto,

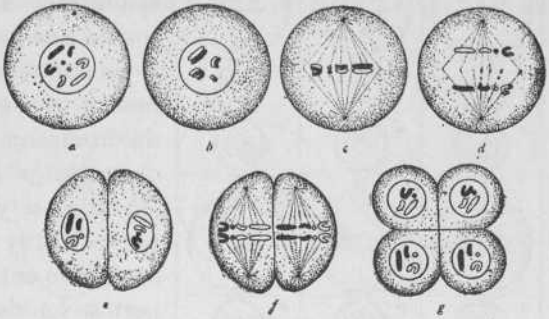


Fig. 27

Esquema de la distribución de los cromosomas bivalentes paternos y maternos en la maduración de los gámetos. (De Goischmidt.)

a b c d los cuatro cromosomas maternos y A B C D los cuatro homólogos de origen materno. Los gámetos podrán tener una de las 16 fórmulas de constitución siguientes:

ABCD ABC*d* ABcD A*b*CD *a*BCD ABc*d* A*b*C*d* A*b*cD *a*BC*d* *a*BcD *ab*CD
A*bcd* *a*B*cd* *ab*C*d* *abc*D *abcd* (figs. 28 y 29).

Estas 16 clases de gámetos, pudiéndose combinar con cada una de las 16 clases del otro gámeto, originarán 256 clases de huevos posibles y en general si n es el número de pares de cromosomas homólogos que tiene la especie el número de gámetos g será

$$g = n^2$$

y el número de huevos h

$$h = (n^2)^2 = n^4.$$

Ahora bien, el número de cromosomas constante para todas las células de la misma especie, es muy variable de unas a otras, habiéndose observado desde 2 hasta 100, elevándose en

este caso el número de clases de huevos que se pueden producir a la enorme cifra de 100.000.000, y en el hombre, en que se admite que el número de cromosomas es de 24, tendremos 43776 clases de huevos.

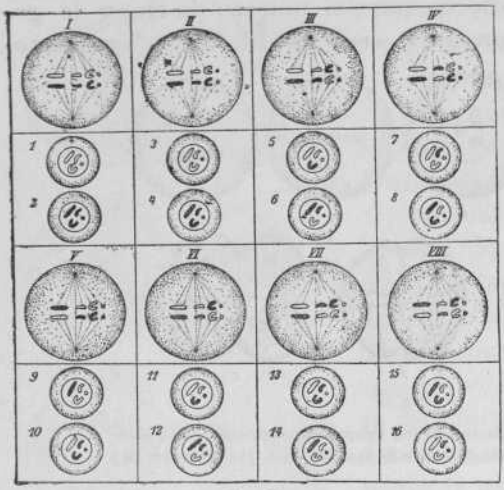


Fig. 28
Esquema de las posibilidades de constitución de los gámetos en el caso de cuatro cromosomas.
(De Goldschmidt.)

Se suponía antiguamente que el número de cromosomas en los organismos inferiore (Protozoos y Protofitas) era muy pequeño, oscilando entre 2 y 10, pero se ha visto que en algunas formas, como *Actinophrys*, Rizópodo Heliozoario, se eleva a 44, número que no alcanzan muchas Fanerógamas y Metazoos. En ocasiones, el número de cromosomas es un buen carácter taxonómico, pues familias y órdenes enteros poseen todas sus especies la misma constitución cromosómica numérica y así los Grillidos y Acrididos en los Ortópteros tienen todos 24 cromosomas, mientras que del mismo orden, los Locústidos, poseen 34. En otros grupos encuéntrase, por el contrario, grandes variaciones, pero frecuentemente se observa (fig. 29), que son múltiplos de un número común haploide, así en los diversos géneros y subgéneros de la familia Rosáceas, el número de cromosomas de las células haploides es,

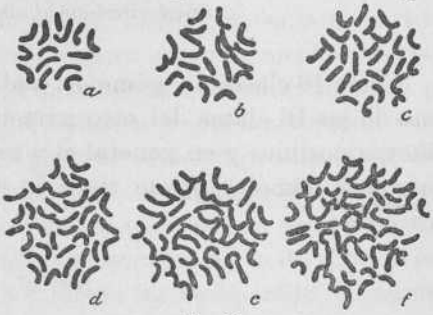


Fig. 29
Placa ecuatorial de las células somáticas de diferentes variedades de rosas. *a, R. webbiana*, con 2n = 14 cromosomas (diploide); *b R. chinensis*, con 15n = 21 (triploide); *c, Conrado Fernando Meyer*, con 4n = 28 (tetraploide); *d, R tomentosa cuspitatoides*, con 5n = 35 (pentaploide); *e, R. nutkana*, con 6n = 42 (exaploides); *f*, bastardo octaploide.
(De Täkholm.)

como mínimum, 7, pero se observan formas con 14 *(diploides)*, 21 *(triploides)*, 28 *(tetraploides)*, 35 *(pentaploides)*, 42 *(exaploides)*, etc.

Dentro de una misma especie se observa a veces variación en los cromosomas, pero con números en que existe relación;

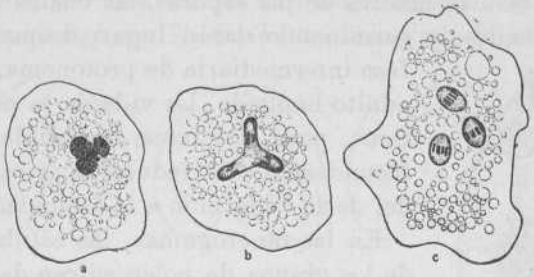


Fig. 30

Triparfición de un núcleo de *Vahlkampfia bistadialis* (De Kühn).

así el *Ascaris megalocephala* tiene dos razas, que se caracterizan por su número de cromosomas: la *bivalens* con cuatro y la *univalens* con dos, habiéndose logrado bastardos de ellas obtenidos de la conjugación de huevos de *bivalens* con dos cromosomas y espermatozoides de *univalens* con un cromosoma, que tenían sus células haploides de tres cromosomas. También se conocen divisiones reductoras con tres centrosomas, que dan un uso acromático de tres puntas (fig. 30), que origina células en que el número de cromosomas queda reducido a la tercera parte. También ha sido posible conseguir en musgos y algas Conjugadas *(Spirogyra)* duplicar y cuadruplicar experimentalmente el número de cromosomas, obteniéndose células *poliploides*.

Lo normal es que no solamente el número de cromosomas se conserve en virtud de la carioquinesis reductora a través de las generaciones, sino que también, en virtud de la sinapsis de los cromosomas homólogos, la individualidad de los cromosomas se mantenga, encontrándolos siempre iguales en cantidad y calidad, es decir, por su morfología y cualidades.

En algunos seres la reducción cromática es posterior a la conjugación, verificándose inmediatamente después de ella en las algas Conjugadas. En los musgos las células son haploides y la conjugación se verifica con gámetos que no han sufrido reducción cromática por proceder de células ya haploides y resti-

tuye el número diploide, el cual es carácter de todas las células de la planta que resulta de la multiplicación de la gametóspora y que crece parasitariamente a la anterior, formando el llamado esporogonio, el cual origina esporas asexuales haploides, pues la reducción se opera en la primera de las dos divisiones que sufren las células madres de las esporas, las cuales serán, por tanto, haploides, y germinando darán lugar, después de una fase intermediaria de protonema, al musgo adulto haploide. La vida de la planta contiene, pues, dos fases: una diploide, de la fecundación a la reducción, y otra haploide, de la reducción a la fecundación.

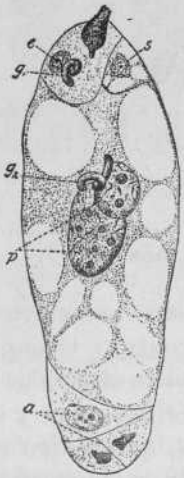


Fig. 31

Conjugación en el saco embrionario de *Lilium Martagon* de uno de los anterozoides *g* con la oosfera *e* y del otro anterozoide g_2 con los núcleos del saco embrionario *p* próximos a fusionarse en célula triploide; *s*, sinergida, *a* antípodas. (De Guignard.)

En las fanerógamas, las células madres de los granos de polen sufren dentro de la antera las dos particiones habituales, de las cuales la primera es reduccional, y lo mismo ocurre a la célula madre del saco embrionario. Las células de los protalos masculino (tubo polínico) y femenino (saco embrionario) son, pues, haploides. La gametóspora se forma de la unión de dos núcleos haploides y es, por tanto, diploide, así como toda su descendencia, que forma el embrión (fig. 31), pero al mismo tiempo se constituye una célula triploide de la unión del núcleo del saco embrionario, ya diploide, por formarse de la fusión de dos núcleos de él, y el otro espermatozoide, del tubo polínico, que resultó de la división del germinativo, esta célula triploide, multiplicándose, origina el tejido nutricio del embrión, llamado albumen.

En los infusorios de los dos núcleos que poseen, el macronúcleo tiene solamente funciones tróficas, y cuando se conjugan uniendo sus citóstomas, el micronúcleo se parte por dos divisiones sucesivas, de ellas una (la segunda), es reductora, en cuatro núcleos (fig. 32), de los cuales tres están destinados a reabsorberse, mientras que el cuarto, por una nueva división, da dos núcleos haploides como el que les produjo, de los cuales

uno, emigrante, pasa a través de los citóstomas para conjugarse con el sedentario del otro, y viceversa, separándose los dos individuos fecundados y habiendo actuado ambos de machos y de hembras. Esta modalidad de la conjugación ofrece la novedad de que en lugar de formarse una célula diploide de dos haploides, se constituyen dos células diploides de dos también diploides. Sin embargo, en *Vorticella* se inicia ya la formación de

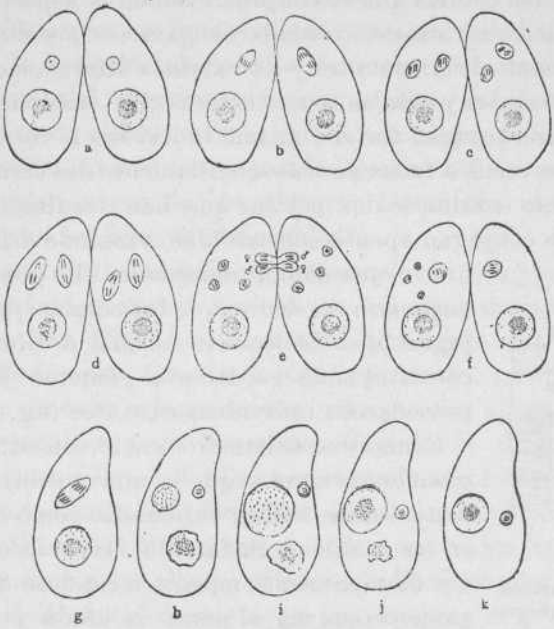


Fig. 32

Conjugación de un infusorio según las investigaciones de Enriques. *a*, unión de los dos individuos; *b* y *c*, división ecuacional del micronúcleo con cuatro cromosomas; *d*, división reductora; *e*, conjugación de las dos mitades de uno de los cuatro heminúcleos; *f*, cariogama; *g-k*, formación de un nuevo macronúcleo. (De Hartmann.)

una sola célula como producto de la conjugación que es el caso normal. En efecto, en este infusorio fijo, la división se hace en sentido longitudinal que parte al individuo y su pedúnculo, originando asociaciones de seres fijos, pero en ocasiones la división, en lugar de ser igual dando dos individuos semejantes, es desigual por operarse en sentido transverso, dando un individuo fijo normal y otro libre procedente de la parte apical que nada

conjugándose a uno fijo intercambiando sus núcleos de la manera habitual, pero mientras el individuo fijo que podemos considerar como un macrogámeto, o sea como un individuo femenino después de fecundado sigue viviéndose y multiplicándose por división longitudinal el libre degenera y no da descendencia.

En muchos seres unicelulares las células que se conjugan son individuos normales, de forma que en este caso como en todos, en los que las células que se conjugan tienen el aspecto de células somáticas, no existen verdaderos gámetos puesto que una célula normal actúa como tal y no existe la diferenciación entre células normales y células reproductoras. En ocasiones, las células que se conjugan son del mismo individuo a veces, la conjugación se verifica fusionándose sencillamente dos células adyacentes, y en ocasiones dos células que han resultado de una división se conjugan apenas constituídas, viniendo a formar de nuevo una célula *(autogamia)*. Lo general es la *amfimixia,* es decir, que las células que se conjugan bien de aspecto normal o diferenciadas constituyendo verdaderos gámetos *(figura 26)* procedan de individuos distintos (fig. 33).

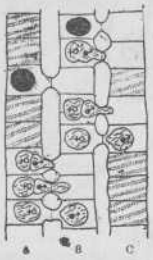


Fig. 33

Esquema de la fecundación con amfimixia de un alga filamentosa. 3 filamentos de *Spirogyra* están en copulación, y a pesar de su condición dioica el sexo no es constante, pues el filamento mediano B funciona como macho con el A y como hembra con el C. (De Hartmann.)

Cuando no existe diferenciación entre ambos gámetos no es raro que la nueva célula se constituya entre ambas fusionadas como es el caso en los mohos de la familia Mucoráceos en que dos filamentos del micelio tocándose forman la gametóspora en el punto de unión y en algunas conjugadas en que la llamada zigóspora se constituye en el puente de unión de las dos células que se conjugan, pero en otras conjugadas el contenido de una de las células es absorbido por la otra, dentro de cuya membrana queda la zigóspora (fig. 33), iniciándose aquí una diferenciación entre gámeto emigrante y sedentario y pudiéndose calificar a uno de masculino y al otro de femenino.

Los seres que diferencian gámetos para la reproducción cuando son acuáticos los lanzan al exterior, verificándose la conjugación en el medio como es el caso de las esponjas, los equinodermos, los peces, etc., pero en las formas terrestres, los

gámetos femeninos quedan dentro del aparato materno y se precisa la polinización o la cópula. En las formas más avanzadas, no sólo la fecundación es interna por verificarse en el interior del cuerpo de la hembra, sino que el desenvolvimiento del huevo prosigue dentro de la madre, la cual lanza al exterior no huevos fecundados sino embriones detenidos en su desarrollo, como es el caso de las plantas superiores o en estado de vida activa como ocurre en los mamíferos diciéndose que el ser es vivíparo. Tanto en las fanerógamas como en los mamíferos placentarios, la viviparidad no sólo representa el desarrollo del huevo dentro del organismo femenino, sino su alimentación, pero otras veces el huevo no es retenido más que para una simple incubación interna (ovoviparidad), mas en todo caso los individuos salen vivos de los órganos femeninos en lugar de expulsar éstos los huevos (oviparidad).

Si existen dos clases de gámetos que se complementan y cuya diversidad se manifiesta aun en los casos de isogamia en que no se han diferenciado morfológicamente entre sí, por atraerse los de sexo distinto y repelerse los del mismo es porque dentro de cada especie existen siempre dos clases de células: la masculina y la femenina. Cuando la diferenciación sexual alcanza a los individuos existiendo machos y hembras, los primeros estarán sólo formados de células masculinas y los segundos de células femeninas, mientras que en los hermafroditas existen de las dos clases. Si en los individuos pluricelulares nos es fácil delatar el sexo no sólo por los órganos sexuales sino por los caracteres sexuales secundarios, en las células somáticas y aun en las germinales antes de convertirse en gámetos no parece fácil distinguir el sexo. Sin embargo, la diferencia existe y en algunos casos tan ostensible, que ha podido ser señalada, así en ciertas especies (fig. 34) las células masculinas tienen un cromosoma sin homólogo, por lo que su número de cro-

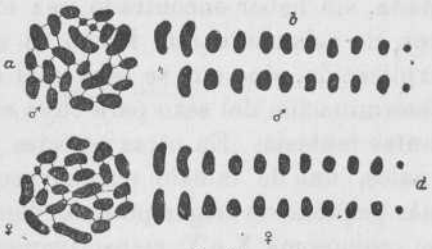


Fig. 34

Cromosomas del macho *(a)* y de la hembra *(b)* de *Anasa tristis* y a su derecha ordenados por parejas de cromosomas bivalentes *(h,* cromosoma impar X). (De Hacker.)

mosomas es impar, pudiendo expresarse la constitución cromosómica de la hembra por $2n + 2$ y la del macho por $2n + 1$, denominándose a este cromosoma impar de las células masculinas cromosoma X. Se comprende que al formarse los gámetos machos habrá una mitad con n cromosomas y otra mitad con $n + 1$, de lo que resultarán dos clases de huevos fecundados, unos de $2n + 2$ cromosomas y otros con $2n + 1$ puesto que todos los gámetos hembras tendrán $n + 1$ cromosomas, es decir, que resultarán unos machos y otros hembras en la misma proporción, puesto que el gámeto hembra tiene tantas probabilidades de ser fecundado con un espermatozoide de n como de $n + 1$ cromosomas, explicándonos así que el número de nacimientos de machos sea aproximadamente igual al de hembras, lo que de antiguo había llamado la atención de los que se habían ocupado de estas estadísticas en muchas especies y especialmente en la humana, sin haber encontrado una explicación satisfactoria. Así hoy no solamente este hecho ha encontrado una tan sencilla explicación, sino que se sabe cuál es la clave de la misteriosa determinación del sexo para cuya explicación se habían ideado tantas fantasías. En otras especies existen dos cromosomas sexuales, uno de tamaño normal procedente de la madre y otro más pequeño de origen paterno, denominándose, respectivamente, cromosoma X e Y, respectivamente. En este caso, las células machos y hembras tienen el mismo número de cromosomas, pero mientras los dos sexuales en las hembras son X, las células machos tienen un cromosoma X y otro Y. Siendo, pues, la fórmula cromosómica de las células diploides $2n + 2$ y teniendo éstos dos cromosomas sexuales, la forma X en la hembra y uno X y otro Y en el macho, resultará que mientras todos los

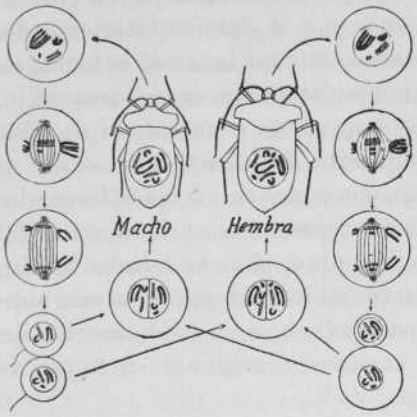


Fig. 35

Ciclo de la constitución de un macho y de una hembra. El cromosoma X está marcado en negro. (De Golschmidt.)

gámetos hembras tendrán la fórmula $n + X$, los gámetos machos serán de dos clases, unos $n + X$ y otros $n + Y$, los primeros originan huevos de fórmula $2\,n + XX$; los segundos de $2\,n + XY$; es decir, los primeros, hembras; los segundos, machos. Así como en estos casos el sexo del huevo y por tanto del nuevo ser si es dioico o sea unisexual, está en potencia en el espermatozoide; se conocen otros casos en que por el contrario existen dos clases de óvulos y el sexo estará en potencia en el óvulo.

LECCION 8.ª

PARTENOGÉNESIS

En ciertos seres la célula huevo es susceptible de desarrollarse y engendra un ser sin fecundación, fenómeno denominado partenogénesis. Lo mismo que la multiplicación la partenogénesis no parece existir sola, sino que a la vuelta de un número mayor o menor de generaciones reaparece la reproducción sexual. Sin embargo, en muchas especies partenogenéticas, los machos son sumamente raros y, aun en algunas, desconocidos, llegándose a admitir que se reproducen indefinidamente por partenogénesis.

El desarrollo de los huevos sin fecundación es un fenómeno normal de muchos seres, así en muchos Entomostraceos la reproducción partenogenética es la regla. *Apus* Filópodo, que se encuentra en prodigiosa abundancia en los depósitos temporales que se constituyen en las épocas lluviosas, puede faltar durante años enteros de una región, reapareciendo de nuevo en gran cantidad y no observándose más que hembras. Se admite que éstas ponen huevos partenogenéticos al borde de las aguas, que soportan la desecación durante años enteros, desarrollándose al ser de nuevo humedecidos, por lo que los huevos depositados en años en que las aguas alcanzan una gran altura, sólo se desarrollarán a la llegada de otro año muy lluvioso, lo que explica la aparición súbita de gran número de individuos en donde durante varios años no había existido ninguno. Lo general es que los huevos sexuales, de cáscara dura, sean los destinados a pasar las épocas adversas de frío o sequedad, mientras que los huevos partenogenéticos se producen durante las épocas propicias y se desarrollan inmediatamente, los primeros no solamente soportan las condiciones desfavorables, sino que parecen necesitarlas, así como tener una época de reposo antes de reanu-

dar la vida activa. En algunas especies la desecación de los *huevos durables*, como se llama frecuentemente a los de origen sexual, parece necesaria. Por el contrario, los huevos partenogenéticos se llaman *de desarrollo inmediato*, porque no tiene período de reposo y pierden la vitalidad cuando se les deseca.

En los Cladóceros, Entomotráceos, muy comunes también en las aguas dulces, la partenogénesis es habitual y la aparición de la reproducción sexual parece reglada por el régimen de las condiciones de vida, del medio. Así, en ciertas especies habitantes de lagos, solamente se encuentran durante todo el año hembras partenogenéticas, cuyos huevos de desarrollo inmediato, o huevos de verano, se desarrollan inmediatamente en la cámara incubadora, dando lugar a otras hembras partenogenéticas, pero a la llegada de la época fría, aparecen los machos y hembras no partenogenéticas, sino que fecundadas originarán huevos de invierno o durables de cáscara dura y mayor cantidad de substancias de reserva, los cuales resisten el frío, desarrollándose a la vuelta de la dulcificación de la temperatura, dando hembras partenogenéticas (fig. 36) que reanudan el ciclo. Tales especies, que sólo presentan una época al año de reproducción sexual, se llaman *monocíclicas*. En otras que habitan pantanos, fríos en invierno y que se desecan en verano, a una serie de generaciones partenogenéticas de primavera, sigue la aparición de los individuos sexuales, que originan huevos durables y pasan el verano en el fango seco, los cuales se desarrollan, dando lugar a la vuelta de la estación húmeda a una serie de generaciones partenogenéticas otoñales, hasta que los fríos provocan la aparición de los individuos sexuales que formarán los huevos de invierno para desarrollarse en primavera. Estas especies que ofrecen dos generaciones sexuales en el año se llaman *dicíclicas*.

En los Cladóceros que habitan en los charcos pluviales muy efímeros, hay una serie de generaciones partenogenéticas durante la corta duración del charco caldeado por el sol, apareciendo los individuos sexuales cuando está proximo a secarse y quedando los huevos durables en el fango seco y desarrollándose a una nueva lluvia, por lo que durante el año ofrecen varias generaciones sexuales, denominándose a estas especies *policíclicas*.

Una misma especie parece en ocasiones ser *acíclica*, monocí-

clica, dicíclica o policíclica, según las aguas que habite, siendo propias las especies que se consideren acíclicas de los lagos de temperatura y régimen muy constante. En todo caso, las hembras sexuales ofrecen diferencias más o menos marcadas con las partenogenéticas, como es en muchas especies diferenciar el caparazón de la cámara incubadora, que forma una especie de silla de montar o *efipio* que, desprendiéndose, protege al huevo y le sirve de flotador, con lo que arrastrado a la orilla se asegura que sufra la desecación durante el estiaje (fig. 36).

Una partenogénesis análoga a la de los Cladóceros ofrecen

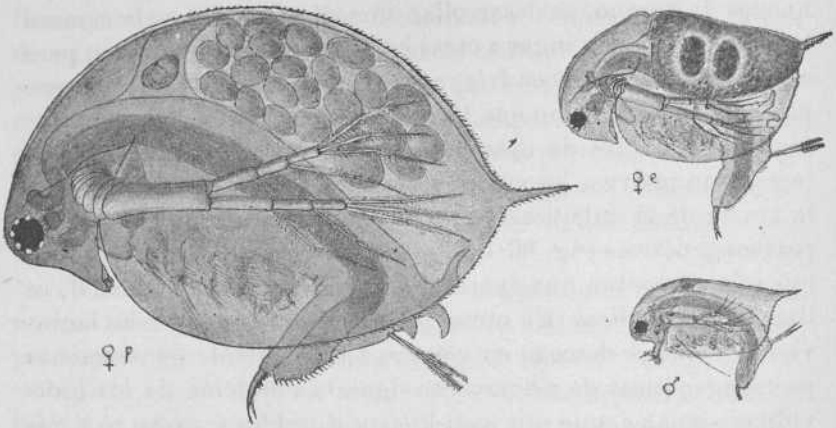


Fig. 36

Polimorfismo sexual en los Claroceros. Macho, hembra partenogenética y hembra efipial.

los Rotíferos, que también abundan, flotando en abundancia en el seno de las aguas dulces.

A los insectos corresponden los casos más conocidos de partenogénesis. Ya Aristóteles había notado que las abejas producen sin fecundación los zánganos y desde las investigaciones de Dzierzon se admite que la reina, algunos días después de su nacimiento, sale de la colmena, emprendiendo un vuelo rapidísimo en dirección del sol en el centro de un día canicular, por una especie, sin duda, de heliotropismo, perseguida por los zánganos y fecundada por uno de ellos, que muere con la cópula, vuelve la reina a la colmena, llevando todavía los órganos masculinos arrancados del zángano y fecundada para toda la vida, pues guarda el semen en una bolsa espermática, admi-

tiéndose con dicho autor que ésta se abre o no en el momento de la opuesta, haciendo que los huevos salgan o no fecundados, dando en el primer caso hembras y en el segundo zánganos. En este caso la fecundación cambia y decide el sexo del huevo, como en los Entomostráceos, si bien en éstos los huevos no fecundados dan siempre hembras en lugar de machos.

En los insectos del orden de los Hemipteros la partenogénesis también es muy común y parece reglada por las condiciones de existencia y de nutrición. Así, los pulgones que viven sobre las plantas clavando en ellas su pico articulado para chupar sus jugos realizan emigraciones estacionales en relación con las modificaciones de la circulación de la savia. Cuando se examinan estos insectos en primavera llama la atención el no encontrar más que hembras apteras que, sin fecundación, producen otras también apteras y partenogenéticas que se suceden durante numerosas generaciones en la buena estación. En otoño aparecen hembras también vivíparas, como las anteriores, que se llaman sexúparas, porque dan machos y hembras ovíparas alados que emigran a otra planta. Se produce entonces la reproducción sexual, originándose huevos durables o de invierno que están destinados a pasar la mala estación para dar al principio de la primavera hembras vivíparas partenogenéticas que reanudarán los ciclos asexuales y que se llamarán por eso hembras fundadoras. En el transcurso del año existen, pues, cuatro clases de hembras, a saber: las fundadoras, las vivíparas, las sexúparas, todas partenogenéticas y las ovíparas, contemporáneas de la única clase de machos, que son las únicas sexuales.

En la filoxera, insecto tan conocido por los terribles efectos que a pesar de su pequeñez produce en los viñedos, las hembras partenogenéticas y apteras de primavera (fig. 37), habitan en las raíces y producen varias generaciones, originando grandes trastornos a la planta. Al llegar al verano después de una serie de generaciones en que el número de huevos va disminuyendo, aparecen unas hembras que, sufriendo dos mudas más que las precedentes quedan dotadas de alas y saliendo de la tierra van a poner huevos, también partenogenéticos y mucho más numerosos, sobre las hojas de la vid, los cuales son de dos clases, unos más grandes, que dan nacimiento a hembras, y otros más pequeños que originan machos, ambos apteros, muy degrada-

dos, con el aparato digestivo rudimentario, pues su vida está exclusivamente destinada a la reproducción. Estas hembras sexuales ponen un solo huevo, fecundado después de haber descendido a las raíces, y del que pasado el invierno saldrá una hembra aptera partenogenética que reanuda el ciclo.

En los Hemipteros la fecundación decide el sexo del huevo

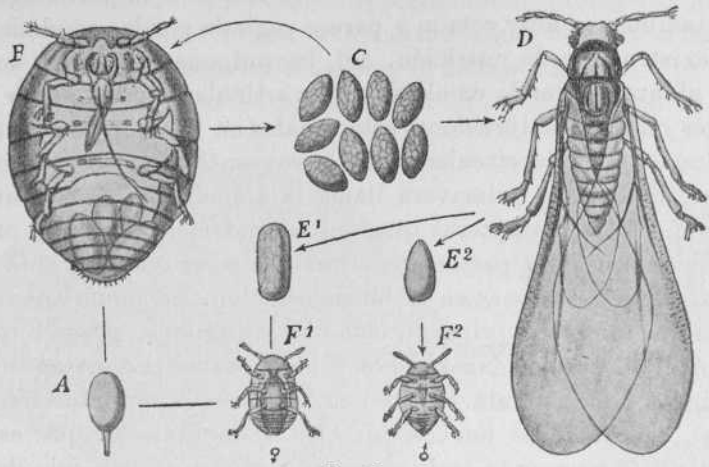


Fig. 37

Ciclo evolutivo de *Phylloxera vastatrix*. A, huevo fecundado del que sale una hembra aptera partenogenética B, cuyos huevos C dan nuevas hembras apteras, hasta originar las aladas D, que ponen huevos de dos clases, los más grandes E^1, que originan hembras, F^1 y los más pequeños E^2, que dan machos F^2.

también y al modo que hemos visto en los Claróceos, en los que los huevos fecundados dan siempre hembras. La explicación citológica ha sido encontrada estudiando los gámetos de ciertos pulgones en que se ha visto que las hembras tenían seis cromosomas y los machos cinco; ahora bien, no sufriendo los huevos partenogenéticos división reductora darán hembras, pero en la partenogénesis que da los individuos sexuales el cromosoma X no se escinde y da huevos con seis cromosomas que originan hembras sexuales y otros con cinco que originan machos. En éstos, los espermatocitos son de dos clases, unos con dos cromosomas que no llegan a colmo y otros con tres que fecundando darán los huevos durables con seis cromosomas que, por tanto, originarán sólo hembras.

En muchos casos el huevo partenogenético no sufre, pues,

la reducción de cromosomas, lo que explica que pueda desarrollarse normalmente sin necesidad del aporte de los cromosomas masculinos, pero en ocasiones el óvulo partenogenético se origina exactamente como el normal, habiéndose, sin embargo, observado o que no llega a expulsar un glóbulo polar o que después de expulsado se conjuga con él, en cuyo caso no puede decirse que en la partenogénesis no haya fecundación, sino sencillamente una autogamia en la que ha obrado de espermatozoide el segundo glóbulo polar.

Sin embargo, desde hace poco tiempo los biólogos han conseguido, mediante interesantes procedimientos, romper el equilibrio del huevo virgen bajo la acción de excitantes mecánicos físicos, químicos u orgánicos, provocando el desarrollo de óvulos normales correspondientes a especies que jamás ofrecen la partenogénesis. Estas desconcertantes experiencias han mostrado la posibilidad del desarrollo de una célula haploide, pero se ha visto que si bien las primeras células del embrión continúan siendo haploides, después, por un fenómeno de regulación todavía no explicado, estos engendros venían, a la postre, a estar constituídos por células diploides, habiendo sido, sin duda, una espontánea escisión de los cromosomas la causa de que recuperen su número normal.

Las experiencias de *partenogénesis artificial* han sido precedidas de la observación de que en ciertos seres los óvulos normales pueden, accidentalmente, desarrollarse partenogénicamente. En el gusano de seda las puestas contienen un pequeño tanto por ciento de huevos capaces, sin fecundación, de desarrollarse, frecuentemente es verdad sin llegar a colmo, pero en ocasiones dando orugas y aun insectos perfectos. Aparte de este hecho, que fué el origen de las investigaciones de partenogénesis artificial, se han descubierto después otros; así en las estrellas de mar no es raro que un cierto número de huevos se desarrollen sin fecundación y en un gusano Poliqueto *(Amphitrite)* se ha observado la misma tendencia, bastando una ligera acción exterior como el cambio de la temperatura para que se produzca la segmentación del huevo.

Las primeras tentativas destinadas a provocar la partenogénesis artificial para aumentar el porcentaje de huevos partenogenéticos en el gusano de seda y para acelerar su desarrollo se-

guidas de las de O. Herwig, provocando la segmentación en huevos sacudidos de estrellas de mar, fueron seguidas de otras en los erizos de mar, en la rana, etc., que probaron que el desarrollo de un óvulo podía ser provocado por diversidad de agentes que reemplazaban más o menos imperfectamente al gámeto macho en su acción estimulante, que hace evolucionar al huevo si bien naturalmente no habiendo aporte masculino, no le suplían en su acción hereditaria, por lo que los engendros obtenidos por partenogénesis artificial tienen siempre caracteres exclusivamente maternos.

Como agentes de la partenogénesis artificial se han empleado, con éxito, diferentes factores físicos, como la luz, la electricidad, el calor y las emanaciones radioactivas, diversas substancias químicas, como la sal común, así como cloruros de potasio, magnesio y manganeso, achacándose la eficiencia al ión metálico que varía para las diversas especies. También se han empleado los ácidos, entre ellos el sulfúrico, anhídrido carbónico, ácidos orgánicos diversos, etc., así como varios alcaloides venenosos y otras substancias. En los huevos de rana las experiencias de Bataillón y otros sabios, han probado que la segmentación se pueden provocar con una picadura, que es particularmente eficaz si el huevo está manchado de sangre, que obra como estimulante. También se ha conseguido el desarrollo de huevos de erizos de mar mediante la esperma de animales muy diferentes, como la estrella de mar y aun más todavía de mejillones, lo que no constituye una fecundación, sino una partenogénesis, ya que el producto no es monstruoso, sino de caracteres exclusivamente maternales.

Aunque la partenogénesis se ha estudiado principalmente en los animales, no es rara en las plantas como las Caráceas, algunos helechos, ciertas plantas dioicas, en que los pies machos son muy raros o en que el polen está atrofiado, hasta el punto de que en algunas especies de plantas las partenogénesis ha venido a ser un fenómeno normal. Por otra parte, en las plantas parece muy común la producción de embriones a expensas de otras células que los gámetos, bien sea del saco embrionario o de la nuecilla, fenómeno que se conoce con el nombre de *falsa partenogénesis*. También los fenómenos que acontecen en la flor una vez polinizada, pueden cumplirse espontáneamente, produ-

ciéndose frutos sin semillas, fenómeno llamado *partenocarpia*.

Por último, conviene indicar una forma singular de partenogénesis que se observa en algunos animales, como ciertos dipteros, cuyas larvas producen en su interior otras, a pesar de que en dicho estado no existen órganos genitales. Esta forma especial de la partenogénesis ha recibido el nombre de *pedogénesis*.

No ha sido posible conseguir la evolución del gámeto macho sin unirse al hembra, sin duda por su pobreza en protoplasma, pero se ha conseguido, en cambio, haciendo entrar en óvulos previamente emuleados que este evolucionara, dando un embrión con abolengo nuclear paterno, conociéndose estas experiencias con el nombre de *efebogénesis*.

LECCION 9.ª

DURACIÓN Y TÉRMINO DE LA VIDA

Se acostumbra a considerar la vida como el espacio de tiempo que transcurre desde el nacimiento a la muerte, pero por una parte la vida del individuo no empieza en el nacimiento sino en la concepción, es decir, en el momento de la constitución por conjugación del huevo, fase unicelular que es la primera del ser, y por otra parte, la muerte resulta muy difícil de definir en un ser pluricelular ya que muchas células mueren durante la vida del ser y otras les sobreviven; así cuando muere un chopo gran número de células murieron antes para constituir las formaciones suberosas, liberoleñosas, etc., mientras renuevos de él nacidos pueden seguir viviendo en una manera exuberante. Es preciso, pues, fijar bien el concepto de nacimiento y de muerte.

Los seres en que el huevo se forma en el exterior por emitirse a él los gámetos, se puede decir que no nacen puesto que el nuevo ser surge en el medio y no sale de ninguno de sus semejantes, así las esponjas no nacen y sólo podrá decirse que nacen los gámetos, pero no el nuevo ser. La palabra nacimiento debe reservarse para designar la salida al exterior de los seres que se organizan y forman dentro de la célula huevo o del órgano femenino, los primeros son los seres ovíparos como los Artrópodos, los Vertebrados inferiores, etc., los segundos, los vivíparos y ovovíparos, como los Mamíferos, las Fanerógamas y algunos otros seres como las víboras entre los reptiles, los tiburones, entre los peces, las moscas borriqueras entre los insectos, etc.

Respecto a la muerte es preciso distinguir entre la muerte celular, fácil de comprender y la muerte de los seres pluricelulares que es la desaparición de la individualidad, y por tanto, como ésta está en algunos poco manifiesta, es difícil definirla. Aun en los seres en que la individualidad es bien marcada puesto

que todas las células que resultan de la proliferación del huevo pertenecen al mismo individuo, es preciso tener en cuenta que ellas no mueren al mismo tiempo y que algunas le sobreviven, así es posible tener en un cultivo células humanas de un individuo que haya muerto y al cual pertenecían.

La manera de morir las células de un ser pulicelular es muy variada, así; muchas mueren cumplida su misión limitada a procesos juveniles como es el caso de las que constituyen el amnios, el alantoides y otros órganos embrionarios; otras ofrendan su vida en beneficio de la colectividad como las células de nuestra capa córnea que mueren para proteger con sus cadáveres las células vivas atrincheradas debajo de ellas y cuando sus cuerpos inertes se van destacando, otras vienen a ofrendar su vida en holocausto de la colectividad; en ocasiones las células mueren para servir de pasto a sus hermanas que necesitan nutrirse a expensas de ellas, si han de cumplir sus fines, siendo muy frecuentes estos casos de camnivalismo celular y así las células amiboides de la capa osteógena, van fagocitando las del cartílago que es así devorado en el proceso de la osificación y las de la capa rizógena van destruyendo las que se encuentran a su paso sirviendo de alimento de la raicilla que se abre así camino; a veces, las células se sacrifican no por el organismo sino por su perpetuación, y así las de las glándulas mamarias se desorganizan para venir a ser el alimento de un nuevo individuo; también en ocasiones se establece entre las células hermanas una lucha egoísta y sin cuartel, en virtud de la cual, las más robustas triunfan sacrificando y anulando a sus adyacentes más débiles, y tal es el caso en el ovario en que las células que llegan a ser óvulos han sacrificado a las foliculares; otras destinadas a formar órganos que han de atrofiarse, viven sin utilidad y mueren sin gloria como es el caso de las células constituyentes de la región caudal del embrión humano destinada a reabsorberse y atrofiarse antes del nacimiento sin tener jamás función; otras, por último, en buena hora divorciadas de sus hermanas que las han nutrido y amparado, logran por sí solas o asociándose a una extraña, la inmortalidad, tal es el caso de los gámetos.

Se comprenderá que aunque la muerte sea un fenómeno bien asequible a nuestra experimentación ya que nos es dado provocarle artificialmente y estudiar las condiciones en que se realiza,

los biólogos se ven desconcertados lo mismo para definirle que para comprender su esencia y su finalidad. Y como se ha dicho muy exactamente, no comprenderemos lo que es la vida mientras no comprendamos lo que es la muerte. La primera paradoja que surge en el estudio de la muerte que a primera vista se nos aparece como un enemigo de la vida, es la necesidad de aquélla para la continuación de ésta, por lo que decía Mirabeau que una vez inventada la vida nada había más urgente que inventar la muerte. En efecto; no solamente la muerte es necesaria para mantener la vida de otros seres, sino para que sea posible la de los de la misma especie. Muchas plantas produce un número de semillas superior a cien mil y es indudable que si la inmensa mayoría no muriera, el globo sería pequeño para que se instalaran los descendientes de una sola planta a las pocas generaciones y mucho antes que la superficie del globo se habría agotado el alimento, por lo que la numerosa descendencia se vería obligada a morir totalmente. Peces como el arengue y el bacalao producen muchos millones de huevos y sin la muerte, el mar sería incapaz de poder contener los descendientes de una sola hembra grávida.

Por otra parte, la muerte, eliminando los seres más débiles y los que se desenvuelven en peores condiciones, permite que la reproducción se verifique entre los más fuertes y aptos que al ser a su vez eliminados dejan un lugar para sus robustos descendientes y de esta manera un ensayo continuo de producción de individuales adecuadas a las condiciones siempre evolucionando del medio cósmico, consiente que perdure, no la especie como se ha dicho frecuentemente que es caduca aunque no tan efímera como el individuo, ya que la paleontología nos prueba que las especies nacen y mueren también, sino la vida que es inmortal ya que al menos, desde que hizo su aparición en la tierra, jamás desapareció. Sin la muerte, la vida sería imposible, porque en la evolución cósmica los individuos se encontrarían bien pronto inadaptados a las nuevas condiciones.

Se distinguen, en general, dos clases de muerte, la accidental y la natural. Como el edificio vital es sumamente frágil y delicado y su actividad muy inestable, cualquier acción externa puede provocar la muerte que, por ser cosa fortuíta, se llama accidental, pero sin necesidad de que sobrevenga una causa que

origine la muerte, se observa que en el curso de la vida la intensidad de ella, que al principio aumenta, entra después en declinación y se amortigua después de un tiempo de duración que tiene un valor medio específico, por lo que se admite la existencia de una muerte no ya fortuíta sino fatal e ineluctable que se llama la muerte natural.

Muchos biólogos niegan, sin embargo, la muerte natural, no sólo por invocar que los seres decrépitos mueren también por causas fortuítas, de forma que su muerte es también accidental, sino porque las causas que producen la senectud y la muerte natural, por tanto, son las mismas que determinan la muerte catastrófica y así los seres acuáticos que viven en los charcos cuyo ciclo de vida se cumple dentro de la efímera existencia de ellos, mueren por desecación, teniendo así, como término natural de su vida, el mismo que los que por accidente quedan en seco, y si se admite la muerte por senectud, ésta no sería una muerte por envenenamiento ya que por las deficientes condiciones en que se realiza la vida de los seres pluricelulares, éstos se van autointoxicando y la pretendida duración específica de la vida natural sería de la misma naturaleza que el plazo de vida de un animal sometido a inyecciones progresivamente ascendentes de un veneno metódicamente suministrado.

Si toda muerte ha de ser mirada como accidental, la muerte deja de ser un atributo esencial de la vida, opinión vigorizada por el hecho de que los seres unicelulares que se multiplican indefinidamente son virtualmente inmortales, pues cuando un individuo se fracciona en dos se podrá decir que su personalidad ha desaparecido, pero no se puede admitir que haya muerto puesto que no existe el cadáver y la descomposición de materia orgánica característica de la muerte.

En los mismos seres pluricelulares en que la muerte sea natural o artificial es cosa ineluctable; existirían, según la teoría de Weissman, dos clases de células, unas las somáticas destinadas a morir, otras las germinales virtualmente inmortales. En ciertos seres como *Ascaris megalocepala,* aparece en la segmentación del huevo una diferenciación muy precoz entre el soma y germen (fig. 38) que parece autorizar esta teoría, según la cual el soma no sería más que una formación caduca destinada a

proteger y nutrir el germen inmortal, pero es preciso convenir que las células germinales pueden surgir de una manera bastarda de las somáticas, pues cuando se planta un árbol de estaca o un pensamiento de esqueje, el conjunto de células somáticas produce una nueva planta que, al florecer, origina células germinales de carácter inmortal a pesar de su estirpe letal somática.

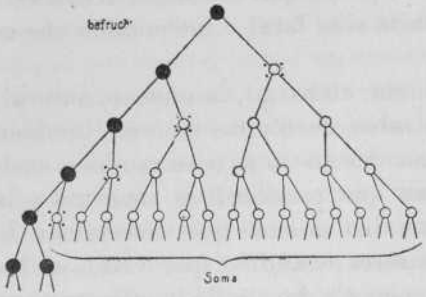


Fig. 38

Esquema de la diferenciación del soma y del germen en el *Ascaris megalocephala.*

Dadas estas consideraciones, muchos biólogos piensan que la condición mortal de los seres es forzosa, no como condición intrínseca de la vida, sino de la manera en que forzosamente se ha de desenvolver, lo cual no impide que la vida se perpetúe. En los seres unicelulares no insistiría más que la muerte catastrófica, pero en los pluricelulares una muerte irremediable de la colectividad derivaría de la propia organización y sería el precio a que se ha adquirido la especialización celular. Así en las algas Cianofíceas que aun siendo pluricelulares la diferenciación no existe como ocurre en *Oscilatorias* en las que la multiplicación siempre en la misma dirección, conducen a la formación de rosarios de células, los cuales, a su vez, se parten espontáneamente, la muerte natural no existe, pero en *Nostoc* Cianofícea en qué el filamento protegido por una vaina gelatinosa contienen intercaladas entre las células normales otras de aspecto diferente llamadas heterocistos, las células normales representarían a las somáticas de los seres superiores por estar destinadas a morir al advenimiento de las circunstancias adversas, quedando los heterocistos que rodeándose de una fuerte membrana y almacenando abundantes reservas alimenticias suspenden su vida preparándose a resistir la mala estación hasta que a la vuelta de las condiciones favorables reanudarán su vida dando nuevos rosarios de células que se multiplicarán activamente.

La duración de la vida es muy variable con un valor medio específico. En ciertos seres la vida es tan efímera, que está des-

tinada casi exclusivamente a la reproducción, en otros casos esta corta vida reproductora va precedida de una vida larvaria muy larga como es el caso en las efémeras, hay otros en que la duración de la vida larvaria depende de causas externas como ocurre en la anguila que no adquiere nunca la madured sexual mientras no sale de las aguas dulces. En otros seres se observan grandes longevidades como en ciertas plantas milenarias (drago de Canarias, ciprés calvo de Méjico, etc.), en las madreperlas, que alcanzan cien años y en ciertas tortugas, que llegan a trescientos, etc. Se ha creído ver una cierta relación entre la duración de la vida y la complicación de los seres en el sentido de que los seres superiores alcanzarían una vida media más larga que los inferiores, pero nada en concreto puede decirse sobre tales suposiciones a las que pueden señalarse numerosas excepciones, así como a relacionar la duración de la vida con la talla de los seres.

La temperatura aumentando la velocidad de las reacciones hace recorrer a mayor velocidad el ciclo específico y así la duración de la incubación de los huevos de los peces, es función de la temperatura del agua hasta el punto de poder calcularse de ésta, pues siendo constante el producto k del número de días de incubación d, por el de grados de temperatura t, tendremos:

$$d = \frac{k}{t}.$$

A la lentitud en el recorrido del ciclo vital de los seres de temperatura variable en las aguas frías, se atribuye la riqueza en plantón de la vida en los mares polares que es tan grande que el mar alimenta directamente la mayor parte de las especies aéreas (pinnípedos, cetáceos, palmípedas, etc.), e indirectamente a los seres carniceros que de ellas viven (oso polar, etc.).

LECCION 10

EPIGÉNESIS Y PREFORMACIÓN

Si se coloca un huevo fecundado en condiciones apropiadas, éste se desarrolla originando un nuevo ser cuya conformación está prevista por la especificidad del huevo. Así, un huevo de paloma, desarrollándose, engendrará forzosamente un pichón. ¿Cómo se explica esta predestinación del huevo y cuál es el mecanismo que guía la transformación de un material tan sencillo en apariencia, al menos, en la complicada organización del nuevo ser? Todas las hipótesis que se han emitido de la morfogénesis, es decir, todas las explicaciones sobre la diferenciación embrionaria, se clasifican en dos grandes grupos principales: el de las preformativas y el de las epigenéticas.

La concepción filosófica de la preformación supone que en el huevo no se forma nada, sino que todo está ya preformado, lo que explica perfectamente que el desarrollo de todo huevo tenga que conducir forzosamente a la formación de un determinado ser, y como esta preformación está en el huevo porque lo está en los gámetos, ya en uno ya en otro, lo que dividió a los partidarios de esta teoría en espermatistas y ovotistas, el ser en formación, ha de ser de la misma especie que sus ascendientes, de los cuales procede su estructura. Así, en la antigua teoría ovotista del encajonamiento, se admitía que el embrión estaba ya constituído en el huevo, y aun en el óvulo virgen, y no hacía más que crecer haciéndose visible, hasta el punto de que si el embrión era hembra, poseía ya los huevecitos diminutos que había de producir y dentro de ellos sus embriones correspondientes, y así sucesivamente, de forma que en el mundo todo estaba creado y no hacía más que evolucionar. El descubrimiento del microscopio, que permitió comprobar que el huevo no era más que una célula originada por la fusión de

otras dos, los gámetos, dió al traste con esta teoría, puesto que pudo comprobarse que nada había preformado y el embrión había de formarse por divisiones sucesivas de la célula huevo, que darían un conjunto organizándose hacia la conformación del ser. Sin embargo, la concepción filosófica de la preformación, despojada de su materialismo grosero, subsiste en multitud de teorías científicas modernas que admiten la existencia en el huevo de partículas representativas del ser, puesto que si el ser no está contenido en el huevo éste posee en potencia lo que conduce a su formación. Los partidarios de estas teorías fueron precedidos en el siglo XVIII por los entonces llamados *evolucionistas* (hoy día se emplea esta palabra en un sentido muy diferente para designar los partidarios de la descendencia de unas especies de otras), porque pensaban que el desarrollo de los seres no consiste en su formación, sino en una simple evolución de algo preexistente, (teoría espermatista del homúnculus) cual era el sentir de los partidarios de la escuela de Alberto de Haller.

Entre los autores que han profesado opiniones *micromeristas*, es decir, que han supuesto que entre el contenido celular y las moléculas químicas que le constituyen, es preciso colocar unidades intermedias que por sus propiedades o por su disposición determinan las propiedades del ser; citemos al naturalista francés Buffon, que pensaba que la materia viva estaba formada de *partículas inmortales* que se disociaban en el momento de la muerte, pudiendo de nuevo, formando combinaciones nuevas, entrar en la formación de otro ser. Partidario también de unidades vitales, Spencer pensaba que todas son iguales en el individuo y sus propiedades determinan los caracteres específicos, porque la herencia se reduciría a la transmisión de tales unidades, que él denominaba *unidades fisiológicas*, que, formadas de unidades químicas, constituían las unidades vivientes o células, y aquéllas podían presentar pequeñas diferencias que explicarían las variaciones individuales, de modo que en el fondo habría que considerar tantas clases de unidades como de individuos. Al formarse el huevo por conjugación las unidades se dispondrían con arreglo a su carácter específico, pero las pequeñas diferencias individuales determinarían una disposición intermedia entre los gámetos. Esta teoría es el punto de partida de todas las demás que se han imaginado, bien suponiendo tam-

bién que las unidades son semejantes, como las de Haeckel, Cope, etc., como las que suponen la diversidad de estas partículas, cual la de Darwin, que fué la primera, y después las de Naegeli, Koelliker, de Vries, etc.

Pero es sobre todo Weismann el que ha edificado una teoría más completa para explicar la morfogénesis. El ilustre biólogo alemán pretende que en el huevo existe una estructura muy complicada y absolutamente invisible que se transmite íntegra de generación en generación por las células germinales, pero que se disloca repartiéndose sus unidades entre las células somáticas, quedándose aisladas las partículas, que son las que determinarían la diferenciación celular reducidas a su forma más sencilla, la de moléculas químicas, si se quiere. Weismann estaba absolutamente convencido de que toda teoría que no fuese preformativa conducía forzosamente al vitalismo, al cual era opuesto, por lo que su teoría tenía un fondo dogmático. La teoría, muy ingeniosa, no resiste a algunas objeciones, muchas de las cuales, ya previstas por el autor, le obligaron a una laboriosa creación de explicaciones secundarias y en parte contradictorias poco admisibles. Sin tener en cuenta más que el fenómeno de la multiplicación vegetativa y de la regeneración, basta para comprender que las células somáticas necesitan guardar el tesoro completo de partículas representativas para ser capaces de esas posibilidades morfogenéticas.

Un gran número de biólogos se apartan de la teoría preformista y conceden una gran importancia a las influencias externas. Su tendencia negativa y algo vaga, hace que entre sus diversas hipótesis no haya otro trazo de homogeneidad, y alguno, como Herbst, trata de conciliar esta tendencia con la escuela weismaniana. O. Hertwig admite la existencia de partículas como factores materiales de las propiedades de la célula y Roux, a pesar de ser el fundador de la mecánica del desarrollo, estudiando la influencia del funcionamiento en la estructura de los órganos supone la existencia en el huevo de un mosáico. Las hipótesis de estos autores, al contrario de la de Weismann, en que todo queda muy razonado y explicado, pero en el que la base es falsa, no forman un verdadero sistema, pero contienen ideas bastante justas. La tendencia se afirma en favor de la epigénesis, según la cual la forma del cuerpo y las propiedades de

sus partes no dependerían de una fracción cualquiera de la célula huevo, sino de toda ella; no sería durante el desarrollo embrionario el endodermo el que se invaginaría, sino que la capa que se invaginaba adquiriría los caracteres del endodermo; en suma, el embrión, lejos de estar formado, habría de formarse y el protoplasma, lejos de tener ya el esquema de la organización del nuevo ser, sería un conjunto de centros equivalentes que desplegarían sus posibilidades según influencias extrínsecas. Esta manera de pensar tiene sus predecesores en Descartes y fué ya profesada por Blumenbach y Wolf. Ella es defendida en España por la ilustre figura de Cajal.

Según la teoría preformativa, los blastómeros que se van constituyendo a expensas del huevo, tienen ya un destino fijo, es decir, están predestinados a un fin. Esta manera de pensar pareció confirmada desde que Chabry consigue, reventando uno de los dos blastómeros que surgen de la primera división de un huevo de Tunicado, obtener del otro un medio embrión, lo que confirma Roux, que llega a idéntico resultado destruyendo con una aguja al rojo uno de los dos blastómeros resultantes de la primera partición de un huevo de erizo de mar. Pero Wilson consigue aislar uno de los blastómeros de dos, cuatro u ocho de un Amphioxus sin destruirles y logra un embrión completo, y Driechs consigue obtener, con un blastómero aislado de erizo de mar, larvas pluteus completas, pero más pequeñas, con lo que queda demostrado que la división del huevo no disocia un esquema del proyecto embrionario; como obliga a suponer el preformismo, puesto que cuando un blastómero no está influenciado por los demás, vivos o muertos, obra como un huevo completo. Este último autor, elevándose a un examen lógico y bien fundamentado de los hechos, conduce la teoría del desarrollo embrionario no solamente al epigenismo, sino también a un epigenismo que podemos llamar animista. Este neo vitalismo del ilustre biólogo de Colonia conviene sea expuesto no solamente porque representa una reacción contra el mecanicismo que como un credo venía profesando la ciencia contemporánea, sino porque es, en realidad, una de las teorías mejor fundamentadas. No obstante, en España el vitalismo cuenta también, en el ilustre ingeniero señor Castellarnau, un ilustre representante.

Driechs comienza por establecer dos conceptos fundamenta-

les, el destino real de un elemento embrionario si el desarrollo del embrión no es perturbado, que domina valor prospectivo (prospective Bedeutung) y el destino posible de él o potencia prospectiva (prospective Potenz), para deducir que, según las experiencias, no son idénticos, habiendo posibilidades morfogenéticas que no se desenvuelven normalmente y que cada parte embrionaria posee un valor prospectivo en cada caso particular en que se realiza la embriogenia, siendo el objeto de estudio de esta ciencia el averiguar la distribución en el germen de las potencias prospectivas, es decir, el por qué en cada caso se produce una cosa y no otra. En suma, los diferentes blastómeros de una blástula de erizo de mar tienen la misma potencia prospectiva mientras que su valor prospectivo está lejos de ser constante, y, desde luego, se nos aparece como una función de su posición. Si designamos con el nombre de sistema morfogenético a toda parte del organismo que se puede considerar como una unidad bajo este punto de vista, puesto que los blastómeros poseen la misma potencia prospectiva, se puede decir que son sistemas equipotenciales.

Ahora bien, el valor prospectivo S de un elemento x del embrión mutilado, depende de su posición en la parte que ha quedado y del tamaño de ella y podemos, por tanto, escribir $S(x) = f(T\,p)$. Ahora bien, T y p, siendo dos variables independientes para cada uno de sus valores, corresponde un valor definido del valor prospectivo de x. Ahora, en todo desarrollo normal o experimental tiene que haber un cierto factor invariable que está representado por las relaciones de localización tal como están comprendidas en el desarrollo normal en su potencia prospectiva E como principio de orden y podemos entonces escribir $S(x) = f(T, p, E)$.

No pudiendo ser la causa del desarrollo embrionario una substancia química que se descompone, como han pretendido muchos biólogos puesto que cualquiera de las substancias resultantes había de ser idéntica a la original, y no pudiendo ser un mecanismo como se ha invocado puesto que sería preciso que cada una de sus piezas contuvieran el todo, la constante E, no puede representar la resultante de una constelación de causas eficientes sino que es la expresión de una realidad, de un elemento de la naturaleza y la vida como la morfogénesis no puede

resultar de una disposición particular de fenómenos inorgánicos, sino que es una realidad original e irreductible (*eine Sache für sich*) y la Biología, por tanto, no puede, por consecuencia, ser una físico-química aplicada sino una ciencia con principios propios e independientes, ya que estudia un fenómeno la vida, sometida a leyes que la pertenecen exclusivamente.

Sin pretender exponer aquí ideas propias en asunto tan delicado no dejaremos de llamar la atención, por nuestra cuenta, sobre el problema de la regeneración que frecuentemente mirado en las doctrinas para explicar el desarrollo embrionario como un fenómeno accesorio, se nos antoja la base que ha de informar toda teoría de la generación que no es, en nuestra opinión, más que un caso particular de la regeneración, es decir, de la propiedad de los organismos de completarse espontáneamente, y que, por tanto, si todo organismo es una máquina ningún organismo puede ser sólo una máquina ya que posee cualidades absolutamente extrañas a todo mecanismo, cual es el que cada una de sus piezas contenga la posibilidad de convertirse en el conjunto.

LECCION 11

MENDELISMO

La herencia es, según la feliz expresión de Goette, la facultad que poseen los organismos de reproducir su forma. Merced a esta facultad, la vida es un fenómeno rítmico en el cual, formas semejantes, reaparecen periódicamente.

Como en virtud de la colaboración de dos individuos en la reproducción sexual con anfimixia, es decir, con fecundación cruzada, el nuevo ser ha de semejarse a sus dos padres los caracteres específicos que son comunes a éstos, se fijarán por herencia pero los caracteres individuales que les diferencian entrarán en conflicto, siendo éste el fundamento de la personalidad.

Se conoce con el nombre de mendelismo (de Mendel, sabio religioso que inició estas investigaciones) la parte de la Biología que se ocupa en investigar las leyes a que está sometida la transmisión de los caracteres.

Cuando se cruzan dos individuos que difieren en un cierto carácter es frecuente que los descendientes de la primera generación ostenten todos, el carácter llamado por eso *dominante* de uno de los padres como si el del otro llamado *recesivo* hubiese sido anulado; mas no es así, sino que queda en estado latente por cuanto si se cruzan entre sí o se autofecundan caso de ser hermafroditas estos híbridos, a pesar de parecer de raza pura su condición bastarda, se reconoce porque la nueva descendencia ofrece una cuarta parte con el carácter regresivo, pareciéndose en él no a sus padres sino a su abuelo recesivo. Así, Mendel, cruzó guisantes que daban semillas amarillas con otros de semillas verdes, resultando guisantes con semillas amarillas, porque este carácter domina sobre el verde, pero autofecundan-

do estos *híbridos* resultan plantas con una cuarta parte de semillas verdes (fig. 39). Las restantes semillas amarillas, aunque todas iguales, son en realidad de dos clases, pues un tercio de ellas, es decir, una cuarta parte de las producidas por la planta, dan matas con flores, que autofecundadas, producen solamente semillas amarillas, lo que prueba que son de raza pura como las semillas verdes, que autofecundadas originan solamente semillas verdes, pero los dos cuartos de semillas restantes originan plantas, que autofecundadas producen guisantes de las dos cla-

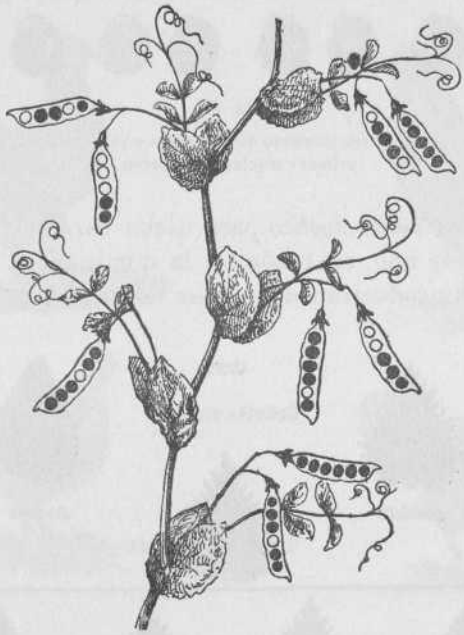


Fig. 39

Mata de guisantes, resultado de la autofecundación de un híbrido, dando semillas de dos clases en la proporción de 3/4 y 1/4.

ses siempre en la proporción de 1/4 de verdes y 3/4 de amarillos, lo que prueba su condición bastarda.

La explicación de estos fenómenos, muy sencilla, es la siguiente: Si se supone vinculado en los cromosomas un carácter hereditario, el color de la semilla, en este caso, será llevado por los gámetos en un cierto cromosoma, y al constituirse la

célula huevo de los híbridos la pareja de cromosomas homólogos correspondientes llevará distinto carácter, diciéndose que

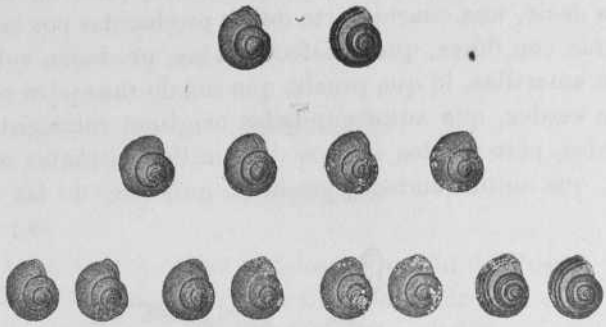


Fig. 40

Descendencia de un cruzamiento de caracoles con y sin fajas, en que el primer carácter es recesivo.

el nuevo ser es *heterocigótico* para dicho carácter, no manifestándose más que uno, en razón de la dominancia. Ahora bien, estos híbridos producirán dos clases de gámetos, unos con el

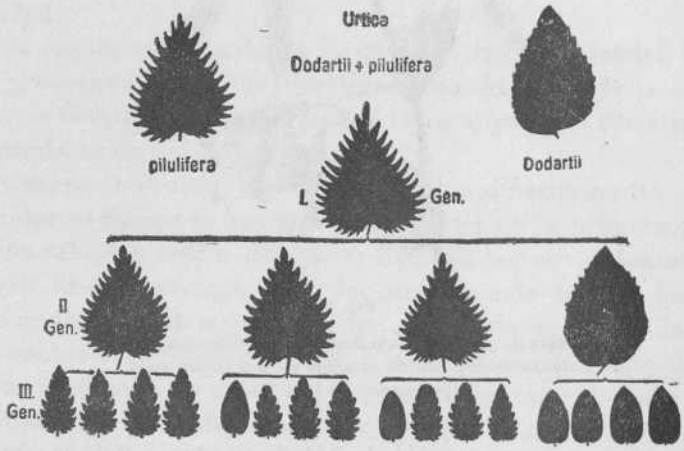


Fig. 41

Descendencia del cruzamiento de dos especies de ortigas; la de hojas, más profundamente dentadas, dominante.

carácter dominante y otros con el regresivo en igual número, por lo que tendremos llamado A al carácter dominante y *a* al

recesivo, cuatro combinaciones igualmente frecuentes de individuos en la segunda generación.

Gámetos	A	*a*
A	AA	A*a*
a	A*a*	*aa*

y por tanto, tres tipos de constitución o *genotipos* en las proporciones

AA : 2 A*a* : *aa*.

Mas como en razón a la dominancia los individuos *homocigóticos*

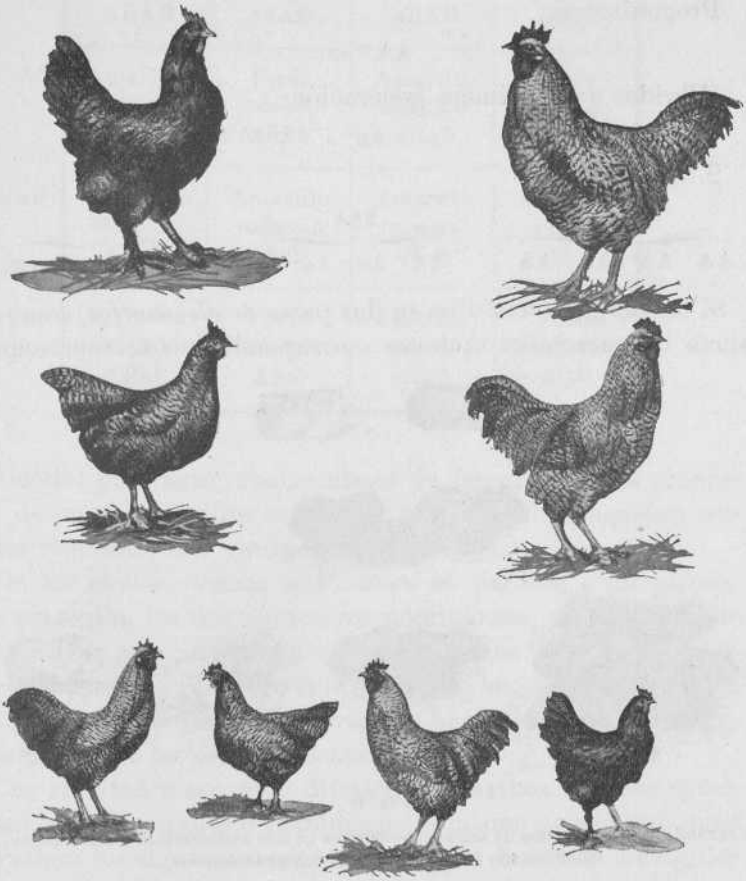


Fig. 42
Descendencia de dos razas de gallinas.

de constitución AA tendrán el mismo aspecto que los *heterocigóticos* A*a*, es decir, corresponderán al mismo *fenotipo,* tendremos 3/4 de individuos amarillos y 1/4 verdes, mas la existencia de tres genotipos distintos quedará delatada, porque así como los individuos recesivos del *fenotipo* verde por autofecundación darán por ser *homocigóticos* una descendencia homogénea en los del *fenotipo* amarillo, mientras una tercera parte de ellos, por ser también *homocigóticos,* darán descendencia homogénea amarilla; en los 2/3 restantes, se mostrará su condición híbrida por dar una cuarta parte recesiva como ponen de manifiesto los siguientes esquemas:

Progenitores

AA *aa*

Híbridos de la primera generación

A*a*

2.ª generación

AA	2A*a*	*aa*
AA AA AA AA	AA A*a* A*a* *aa*	*aa aa aa aa*

Si los progenitores ofrecen dos pares de *alelomorfos*, como se llaman los caracteres opuestos correspondientes a cromosomas

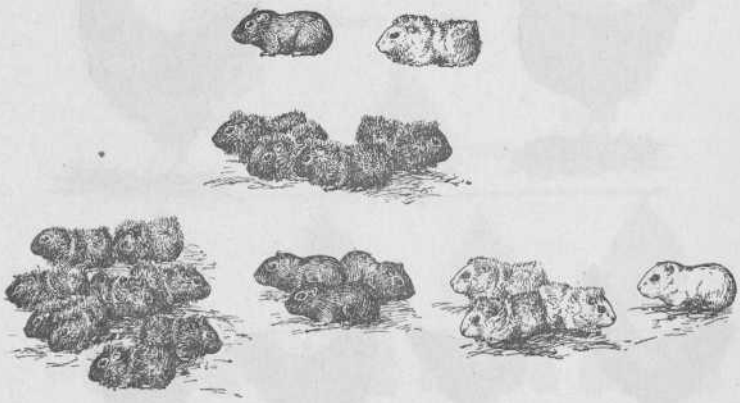


Fig. 43

Cruzamiento de conejillos de indias, que difieren en dos alelomorfos, mostrando su distribución en la progenie de dos generaciones.

homólogos, como ocurre cuando se cruzan guisantes de semillas amarillas y redondas (ambos caracteres dominantes) con otros

en que son verdes y rugosos, los *dihíbridos* ofrecerán cuatro clases de gámetos que tendrán llamando A y B a los caracteres dominantes y *a* y *b* a los alelomorfos respectivos, las fórmulas AB A*b* *a*B *ab*, y por tanto, combinándose las de gámetos femeninos con las de masculinos, tendremos 16 fórmulas de constitución del huevo, como muestra el cuadro siguiente:

Gámetos	AB	A*b*	*a*B	*ab*
AA	*Amarillo redondo* ABAB	Amarillo redondo A*b*AB	Amarillo redondo *a*BAB	Amarillo redondo *ab*AB
A*b*	Amarillo redondo ABA*b*	*Verde redondo* A*b*A*b*	Amarillo redondo *a*BA*b*	Verde redondo *ab*A*b*
*a*B	Amarillo redondo AB*a*B	Amarillo redondo A*ba*B	*Amarillo rugoso* *a*B*ab*	Amarillo rugoso *aba*B
ab	Amarillo redondo AB*ab*	Verde redondo A*bab*	Amarillo rugoso *a*B*ab*	*Verde rugoso* *abab*

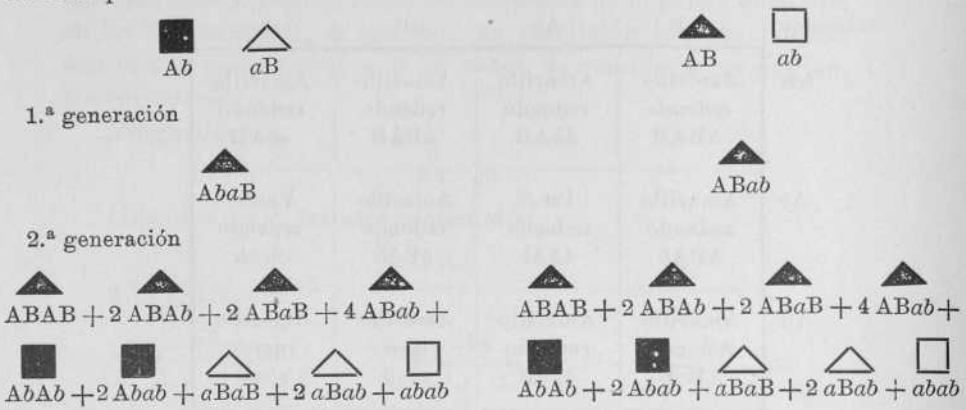
existiendo, por tanto, cuatro clases de fenotipos en la proporción de nueve amarillos redondos: tres amarillos rugosos: tres verdes redondos: uno verde rugoso.

De los cuales, vemos que nueve se parecen a los padres, pues presentan los dos caracteres dominantes, uno ofrece sólo los recesivos pareciéndose, por tanto, no a sus padres sino a sus abuelos recesivos, y las otras dos formas que presentan uno u otro dominante son formas nuevas que han aparecido por entrecruzamiento de los caracteres ancestrales.

Los resultados son algo diferentes si ambos factores dominantes están separados o reunidos en el mismo progenitor como lo prueban los siguientes esquemas en que la forma triangular y el color negro son dominantes sobre la redondeada y blanca, pues en el primer caso los híbridos de la primera generación ofrecen el intercambio de caracteres, y el recesivo de la segunda

es otra forma nueva por intercambio, mientras que cuando los dos dominantes están en el mismo progenitor los hijos se parecen a él, y en la segunda generación aparecen las dos formas nuevas por intercambio, siendo el recesivo como uno de los progenitores.

Gámetos paternos



Para los *trihíbridos*, por proceder de una pareja con tres pares de alelomorfos, el número de gámetos se eleva a ocho, y por tanto, el de combinaciones posibles a 64, como muestra el siguiente cuadro:

Gámetos	ABC	ABc	AbC	aBC	Abc	aBc	abC	abc
ABC	ABCACC	ABcABC	AbCABC	aBCABC	AbcABC	aBcABC	abCABC	abcABC
ABc	ABCABc	ABcABc	AbCABc	aBCACc	AbCABc	aBcABc	abCABc	abcABc
AbC	ABCAbC	ABcAbC	AbCAbC	aBCAbC	AbcAbC	aBcABc	abCAbC	abcAbC
aBC	ABCaBC	ABcaCB	AbCaBB	aBCaBC	AbcaBC	aBcaBC	abCaBC	abcaBC
Abc	ABCAbc	ABeAbc	AbCAbc	aBCAbc	AbcAbc	aBcAbc	abCAbc	abcAbc
aBc	ABCaBc	ABeaBc	AbCaBc	aBCaBc	AbcaBc	aBcaBc	abCaBc	abcaBc
abC	ABCabB	ABcabC	AbCabC	aBCabC	AbcabC	aBcabC	abCabC	abcabC
abc	ABCabc	ABcabc	AbCabc	aBCabc	Abcabc	aBcabc	abCabc	abcabc

Tenemos aquí fenotipos en las proporciones

$$27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1.$$

Así cruzando bocas de dragón cigomorfas de color rojo de fondo marfil con una variedad actinomorfa de color carne con fondo amarillo, resultan formas como las primeras flores por ser sus tres caracteres dominantes, pero estos trihíbridos originan ocho tipos en las siguientes proporciones:

27	flores cigomorfas rojas con fondo marfil.
9	actinomorfas rojas con fondo amarillo.
9	cigomorfas cárneas con fondo marfil.
9	actinomorfas rojas sobre fondo marfil.
3	cigomorfas cárneas sobre fondo amarillo.
3	actinomorfas rojas sobre fondo amarillo.
3	actinomorfas cárneas sobre fondo marfil.
1	actinomorfa cárnea sobre fondo amarillo.

Por último, en los polihíbridos que resultan del cruzamiento de dos individuos que difieren en n alelomorfos el número de fenotipos y su proporción en la progenie es fácil de calcular. En efecto, sabemos que para un par de alelomorfos es de

$$\frac{3}{4} + \frac{1}{4},$$

para dos

$$\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{4}\right)\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{4}\right) = \left(\frac{3}{4} + \frac{1}{4}\right)^2 = \frac{9}{16} + 2\frac{3}{16} + \frac{1}{16},$$

para tres

$$\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{4}\right)^3 = \frac{27}{64} + 3\frac{9}{64} + 3\frac{3}{64} + \frac{1}{64}$$

y para n

$$\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{4}\right)^n$$

El número relativo de fenotipos en el caso n alelomorfos será

$$(3+1)^n = 3^n + n \,.\, 3^{n-1} + \frac{n(n-1)}{2} \,.\, 3^{n-2} + \frac{n(n-1)(n-2)}{3\,!}$$

$$3^{n-3} + \ldots\ldots \frac{n(n-1)(n-2)}{3\,!}\, 3^3 + \frac{n(n-1)}{2} \,.\, 3^2 + n \,.\, 3 + 1.$$

De los 2^n fenotipos de 2^{2n} individuos 3^n tienen los n caracteres dominantes, 3^{n-1} poseen $n - 1$ dominantes y 1 recesivo, 3^{n-2} con $n - 2$ dominantes y 2 recesivos y así sucesivamente hasta $3^{n-n} = 3^0$ con ningún dominante y n recesivos.

En el caso particular de dos o tres alelomorfos tendremos:

$$(3+1)^2 = 3^2 + 2 \times 3 + 1 = 9 : 3 : 3 : 1.$$

$$(3+1)^3 = 3^3 + 3 \times 3^2 + 3 \times 3 + 1 = 27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1$$

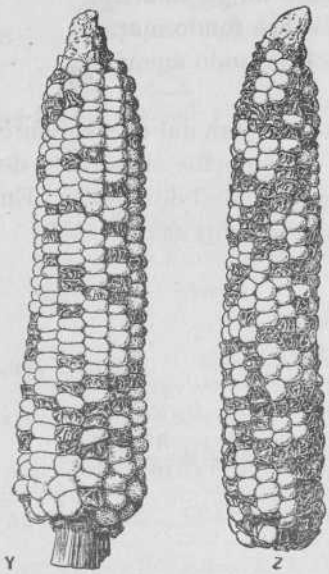


Fig. 44

Mazorcas de maiz con granos lisos y rugosos en una, en la proporción de 3/4 y 1/4, y en la otra de 1/2 y 1/2

La naturaleza híbrida de un individuo se delata también cuando se cruza con otro de raza pura, recesivo, pues, se obtiene una mitad de recesivos como se comprende por el siguiente esquema:

$$\frac{Aa - aa}{Aa \quad Aa \quad aa \quad aa}$$

siendo la otra mitad híbridos, mientras que si el cruzamiento se hace con un dominante, todos los resultados salen del fenotipo dominante, aunque una mitad son híbridos, como se comprende con el esquema.

$$\frac{Aa - AA}{AA \quad AA \quad aA \quad aA}.$$

La dominancia no es un fenómeno general, con frecuencia el regresivo es más o menos aparente *(dominancia incompleta)* o se presenta en ciertas superficies extrañamente distribuído *(híbridos en mosaico)* y en otros casos no hay dominancia de ninguno de los caracteres

(*híbridos intermediarios*), teniendo la descendencia una media aritmética de los caracteres paternos. Así, cuando se cruzan flores rojas de don Diego de día con otras blancas (fig. 45) se obtienen híbridos rosas que dan entre sí una generación con una cuarta parte de flores rojas, otra de flores blancas y dos cuartas partes de rosas.

Un interés especial tiene el caso en que el carácter va

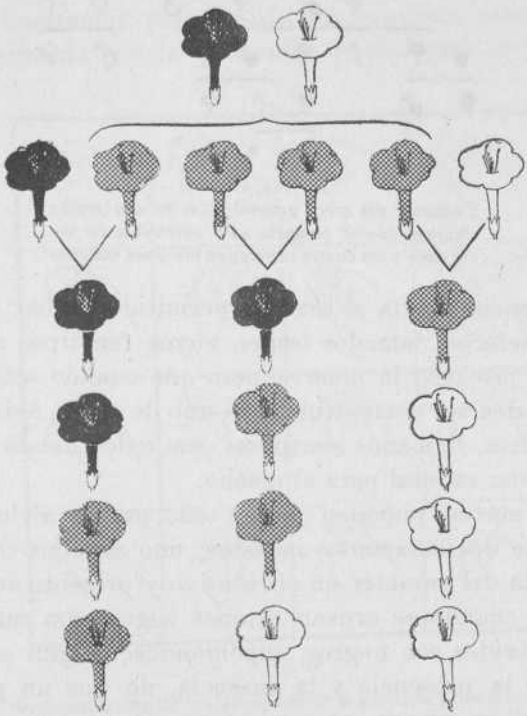


Fig. 45

Descendencia del cruzamiento de dordiegos rojos (representados en negro) y blancos dando híbridos rosas (representados punteados.)

vinculado en el cromosoma sexual, no siendo entonces indiferente que el portador del carácter sea el padre o la madre. En la especie humana la hemofilia, la acromatoxia, etc., se transmiten por vía materna, no padeciéndolas más que los hombres, pues su factor es el cromosoma X. El siguiente esquema muestra la transmisión de una de estas afecciones en una familia,

indicándose los sexos, como es costumbre en biología, por los signos de Marte y Venus, en blanco los individuos no afectados, en negro los machos afectados de la dolencia y las hembras homocigóticas, y mitad negro las hembras sanas, pero transmisoras también de ella por ser heterocigóticas.

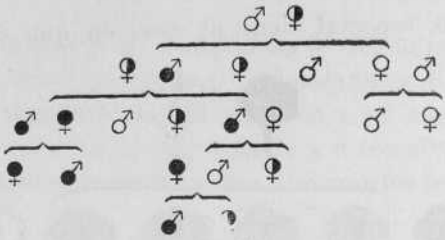


Fig. 45
Esquema del árbol generalógico de una familia afectada de una dolencia sólo ostensible en los varones y los cuales la heredan por línea materna

La herencia ligada al sexo ha permitido probar la existencia de caracteres llamados *letales*, cuyos fenotipos no pueden existir por provocar la muerte, pero que cuando están ligados al sexo pueden ser compatibles con uno de ellos. Así, los gatos de tres colores, llamados mariposas, son todos hembras, porque dicho carácter es letal para el macho.

Ciertos autores suponen que en todo par de alelomorfos se trata, no de dos caracteres opuestos, uno de ellos dominante, sino de falta del carácter en el recesivo y presente en el dominante, así, cuando se cruzan ratones negros con ratones albinos, los híbridos son negros, suponiéndose, según esta teoría, llamada de la presencia y la ausencia, no que un progenitor lleve el carácter blanco y otro el negro, sino que un progenitor lleva el carácter negro y el otro carece de él. Mediante ella se han explicado ciertas particularidades observadas en los cruzamientos; así, en las gallinas con cresta aserrada, cruzadas con las de cresta en roseta y en guisante, resulta aquel carácter recesivo con ambos, y cruzados éstos entre sí, ninguna cresta se muestra dominante ni hay híbrido intermediario, sino que todos los híbridos de la primera generación ofrecen una forma singular en nuez, que cruzados entre sí dan la proporción de fenotipos de dos pares de alelomorfos en la proporción de 9 en nuez, 3 en guisante, 3 en roseta, y, lo que es más interesante,

un recesivo de cresta aserrada, cresta que se mantiene en todos los descendientes y generaciones de cruzamientos de gallinas con este tipo de cresta. Ahora bien, si la cresta en sierra es un carácter recesivo, debía presentarse en una cuarta parte de los descendientes de cruzamientos entre sí de crestas en roseta y de los de crestas en guisante, cosa que no ocurre, ¿cómo, pues, puede explicarse que aparezca en la segunda generación, cuando ambas formas se cruzan entre sí? Acudiendo a la teoría de la ausencia, tendremos que admitir que la cresta sencilla aserrada es modificada por la presencia de un carácter la cresta en

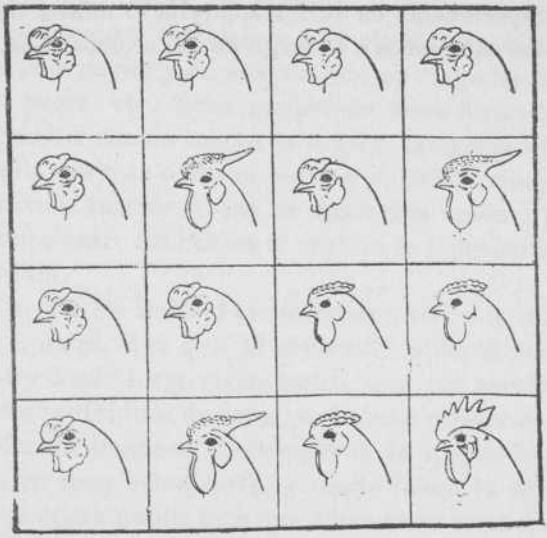


Fig. 47

Representación de los genotipos en la segunda generación del cruzamiento de gallinas de cresta en rosetada y en guisante.

roseta o en guisante, que resulta dominante por faltar en el otro progenitor, pero que reaparecerá en ausencia de estos factores. Llamando R al factor cresta en roseta y G al de en guisante y los alelomorfos en que faltan, respectivamente, *r* y *g*, la constitución de los híbridos será RG *rg*, y las combinaciones a que darán lugar los gámetos RG R*g* *r*G *rg*. Combinados éstos como muestra la figura, tendremos las 16 combinaciones, en las que 9 poseen los factores R y G, y poseerán cresta en nuez: 3 el factor R, y tendrán la cresta en roseta; otros 3 el G.

y su cresta será en guisantes, pero uno, en que faltan ambos, habrá que detener la cresta sencilla aserrada.

El anterior ejemplo nos muestra también, por la aparición de la cresta en nuez, que ciertas formas se originan por interacción factorial, y en ciertos casos se ha observado una tendencia a la persistencia de las combinaciones factoriales paternas, lo que hace variar las proporciones fenotípicas, y ha sido preciso, para explicarlas, admitir que en la sinapsis de los cromosomas éstos pueden cruzarse e intercambiar los cromiolos, lo que complica extraordinariamente las leyes de transmisión de los caracteres, pero que ha permitido a Morgan, mediante sus famosas experiencias en la Drosophylla o mosca del vinagre, localizar los caracteres a lo largo de las cromosomas.

LECCION 12

TAXONOMÍA BIOLÓGICA.—NOMENCLATURA BIOLÓGICA.—IMPORTANCIA Y SUBORDINACIÓN DE LOS CARACTERES

Aunque la naturaleza no presenta más que individuos, su observación permite establecer con ellos agrupaciones ideales, por su semejanza, y en este sentido el vulgo habla de aves, mariposas, peces, etc. Estos grupos de seres formados por su parecido pueden ser de menor o mayor categoría en atención a que aquélla sea más o menos remota y, entre todos ellos, ofrece un particular interés el que se denomina *especie*, por reunir los individuos entre los cuales se verifica la reproducción sexual con amfimixia.

Desde luego, los individuos pertenecientes a la misma especie no son iguales, sino que, al contrario, difieren por multitud de caracteres desde luego secundarios, que por servir para distinguir unos individuos de otros, se llaman *caracteres individuales*, pero ofrecen comunes los caracteres de mayor importancia, que les hacen muy semejantes, y desde luego la reproducción sexual no se opera nunca más que entre estos seres de una gran semejanza. Tales caracteres comunes a todos los individuos de la misma especie y que sirven por eso para definirla y distinguirla de las demás, aun de las más análogas, se llaman *caracteres específicos*.

El concepto de especie no es tan riguroso como a primera vista pudiera parecer, pues mientras que dentro de ciertas especies se agrupan individuos muy desemejantes constituyéndolo lo que se llaman especies muy poliformas, otras agrupan individuos de conformación muy homogénea, en los que los caracteres que les diferencian son de escasa importancia. Por otra parte, individuos pertenecientes a especies próximas pero que se consideran como diversas no solamente por ofrecer caracte-

res constantes que las diferencian claramente, sino por no reproducirse espontáneamente, pueden, sin embargo, cruzarse, dando lugar a híbridos que, aunque frecuentemente infecundos, en ciertos casos proliferan. Como por otra parte para la formación de especies los naturalistas han de valerse frecuentemente de ejemplares muertos y escasos, fundándose en las diferencias más o menos marcadas con las especies conocidas y sin recurrir a experiencias de reproducción, la constitución de nuevas especies queda al arbitrio del naturalista reducido a aplicar el criterio de semejanza bajo un punto de vista personal y sin poderse atener a ningún criterio riguroso.

El número de especies creadas por Linneo ha sido ampliado en proporciones abrumadoras no sólo por el descubrimiento de multitud de formas que no fueron conocidas por aquel gran naturalista, sino porque sus especies han sido fraccionadas en multitud de nuevas especies, pues la especie lineana, fundada sobre un estudio forzosamente superficial de los caracteres, no pueden satisfacer a los especialistas modernos que afinan en el análisis y exageran, por tanto, la importancia de las débiles diferencias. Pero este potente análisis amenaza con llegar a considerar cada individuo como una especie distinta o, por lo menos, a sumir a las ciencias naturales en un caos, por la multiplicación incesante de las especies hechas sin una idea directriz.

Algunos naturalistas se han esforzado por encontrar criterios que, aunque no sirvan para la práctica de la formación de especies, puedan salvar el concepto mismo de la especie. Un individuo que ofrezca un carácter por ostensible y marcado que sea, por el cual difiera de todos los seres de una determinada especie, debe considerarse, sin embargo, como perteneciente a ella y no a una nueva especie, por cuanto dos especies deben diferir en todos sus caracteres y pensaremos que se trata de una *monstruosidad* si el carácter no es hereditario, mas si lo fuera, podría venir a ser colectivo y formar dentro de la especie un grupo de individuos, con dicho carácter, que constituiría lo que se designa con el nombre de *variedad*. Cuando las diferencias colectivas que distinguen a ciertos individuos de una especie del resto de los de la misma tienen por base la acción modificadora del medio por poseer condiciones de habitat especiales, estamos ante un caso de acomodación que cuando sólo ofrecen los

individuos de una cierta estación, constituye lo que se llama una *raza local*, pero que cuando posee transcendencia geográfica, recibe el nombre de *raza geográfica*, reservando el nombre de *subespecie* a aquellas razas que, dependiendo del factor geográfico, divergen por razones de segregación y falta, por tanto, de posibilidad de cruce con las de caracteres normales. Muchas especies deben su polimofismo a ofrecer frecuentes mutaciones o cambios bruscos de caracteres con relación a sus ascendientes, las cuales, se perpetúan por herencia. Estas formas que aparecen por mutuación y difieren poco del tipo se las ha denominado *especies elementales* o *jordanianas*, de Jordán, naturalista que las estudió encontrando en especies claramente definidas multitud de formas elementales.

Como se ve, esta análisis del concepto de especie, aunque haya permitido conocer mejor los caracteres y causas de la variación de las formas, no nos ha conducido a una concepción rigurosa del concepto fundamental de especie que sigue siendo un criterio muy subjetivo.

Las especies próximas se reunen formando un grupo de categoría superior que es el *género*. Los géneros análogos constituyen grupos llamados *familias*, las familias se asocian en *órdenes*, las órdenes en *clases,* las clases en *tipos,* y el conjunto de tipos constituyen el *reino,* tanto animal como vegetal. Las necesidades taxonómicas obligan a formar grupos intermediarios de los indicados, como son los *subgéneros, subfamilias, subórdenes* y *subtipos,* y otros si son necesarios, mientras que la palabra *grupo* se reserva para expresar un conjunto de formas en que no se precisa su jerarquía taxonómica. El conjunto ordenado de todos los grupos constituye el armazón de la *clasificación* y desde antiguo vienen admitiéndose dos clases de clasificaciones. Las llamadas *sistemáticas* o *sistemas* tienen por objeto establecer grupos mediante caracteres fáciles de observar que permitan reconocer un ser determinado y localizarle en la clasificación, lo que en el lenguaje sistemático se conoce con el nombre de *clasificar* un ser que, como vemos, no es más que encasillarle en la clasificación.

Las *clasificaciones metódicas* o *métodos naturales* persiguen agrupar los seres por sus afinidades buscando lo que se ha llamado el plan de la creación en ellas, no se atiende a que los carac-

teres sean fáciles de apreciar sino a su importancia para formar grupos naturales, es decir, que reunan formas afines. Para establecerlos, es preciso tener en cuenta la *subordinación de los caracteres,* es decir, que dada la diversa importancia de ellos, unos más secundarios sólo deben ser utilizados para los grupos inferiores, estando subordinados a otros de mayor categoría que sirven para establecer los grupos importantes. Los seres serán tanto más próximos, no cuando ofrezcan mayor número de caracteres comunes, sino cuando éstos sean importantes, de modo que el clasificador no debe solamente apreciar caracteres sino que ha de pasar y medir su importancia.

Muchos grupos taxonómicos han sido ya formados implícitamente como hemos dicho por el vulgo, mas como estos nombres vulgares varían de unos países a otros y aun dentro de cada uno según las regiones, y muchos, la mayor parte de los creados por naturalistas no tienen equivalente vulgar, Linneo propuso establecer una nomenclatura científica internacional. Cada grupo se designa por un nombre generalmente derivado del griego o del latín que se usa latinizado o con la desinencia del idioma del autor si pertenece a un país de lengua latina, en algunos casos en que existía nombre vulgar del grupo se emplea este mismo en el idioma del autor o traducido al latín, pero el género y la especie se emplean siempre en latín designándose con palabras de origen latino o latinizadas y concordantes y la especie no se designa nunca con el nombre específico solamente, sino con el nombre genérico seguido del específico al que se suele hacer seguir el nombre en abreviatura del autor, que fundó la especie. Este modo de expresar las especies por dos nombres, el genérico y el específico, es lo que constituye la llamada nomenclatura binacia.

A pesar del nombre de métodos naturales que se dan a las clasificaciones biológicas, nuestra taxonomía está muy lejos de ser una sistemática racional sino simplemente un catálogo útil en la práctica de la exposición de la organización a grandes rasgos de los seres para dar idea de ellos. Un verdadero sistema ha de estar establecido sobre conceptos que explican las posibilidades y particularidades posibles dentro de cada grupo general, es decir, ha de demostrar la ley a que están sometidas las desemejanzas y en este sentido, se puede decir que es una sis-

temática natural, por ejemplo, la que resulta de discutir la ecuación general de segundo grado con dos incógnitas, haciendo variar la constante demostrando que el número posible de secciones cónicas es de cinco (recta, círculo, elipse, hipérbola y parábola), y si se quiere un ejemplo de sistemática de objetos reales, la clasificación cristalográfica, la más perfecta quizá de cuantas el hombre ha hecho y que partiendo de la teoría reticular sometida al fecundo principio de racionalidad, demuestra que sólo son posibles 32 tipos de redes, y dentro de ellos se demuestra el número de formas posibles, muchas de las cuales han sido previstas antes de ser conocidas y otras esperan aún el ser descubiertas en la realidad, pero tienen ya su lugar en el sistema. Sin ser un sistema tan perfecto, la clasificación química de los alcoholes, por ejemplo, marca también la existencia y aun los caracteres posibles de un determinado cuerpo aún no obtenido, pero que es ya una realidad en el sistema. Nada de estos caracteres ofrece la sistemática biológica que no es al fin y al cabo más que un catálogo razonado. La correlación de caracteres, es decir, la existencia entre ellos de una ligazón necesaria pero no causal, es la expresión de la existencia de un orden suprasensible que preside la actividad de los seres y que nos es desconocido, por lo que la clasificación no es un sistema, pero expresa la existencia de un sistema.

BIBLIOTECA PÚBLICA - SEGOVIA