



anaya

MANUALES DE  
ORIENTACION  
UNIVERSITARIA

# BIOLOGIA I



d. f. galiano





# **BIOLOGIA**

# **I**

**d. f. galiano**

CATEDRATICO EN MICROBIOLOGIA DE LA FACULTAD  
DE CIENCIAS (UNIVERSIDAD DE MADRID)

ACADEMICO NUMERARIO DE LA REAL ACADEMIA  
NACIONAL DE MEDICINA

anaya



# INDICE





**PARTE PRELIMINAR: La Biología actual**

La Biología como ciencia ... ..	11
---------------------------------	----

**PRIMERA PARTE: Nivel molecular**

Nociones de Bioquímica ... ..	27
Las enzimas ... ..	49

**SEGUNDA PARTE: Nivel celular**

La célula. Morfología celular ... ..	59
La célula. Fisiología celular ... ..	79
El metabolismo celular:	
Fuentes de energía ... ..	93
El metabolismo celular:	
Energía de los compuestos orgánicos ... ..	111

**TERCERA PARTE: Nivel individual**

Los organismos pluricelulares ... ..	127
La reproducción y el desarrollo de los organismos pluri- celulares ... ..	141



# PROLOGO

*Cuando me dispuse a escribir este libro, destinado a los estudiantes de Biología del Curso de Orientación Universitaria, tuve necesariamente que meditar sobre el contenido, amplitud y directrices que debía dar a estas páginas.*

*La existencia de un curso intercalado entre el Bachillerato propiamente dicho y el ingreso del alumno en la Universidad, con el fin de amortiguar la brusquedad del tránsito entre ambos niveles docentes, no es una idea nueva, ya que su necesidad se había sentido ya hace mucho tiempo.*

*El Curso Preuniversitario, en el momento de su implantación, quiso ser un enlace entre los conocimientos y las técnicas de trabajo elementales y las que se practican en la Universidad. Infortunadamente, el Curso Preuniversitario, desnaturalizado enseguida de su función primordial, perdió su carácter de puente para convertirse en barrera, en un curso más de adquisición de conocimientos previo a la entrada en la Universidad.*

*Recientemente ha nacido el Curso de Orientación Universitaria con unos objetivos semejantes a los que el Preuniversitario tuvo en su día, los de formar a los alumnos en unas técnicas e iniciarles en el pensamiento y en la crítica científicos, así como para orientarles en su vocación.*

*Bien patente es, pues, la diferencia entre el Preuniversitario, tal como se impartió, y el C. O. U. de hoy, y tal diferencia debe reflejarse también en los libros que utilicen los alumnos en este curso.*

*En el Preuniversitario latía una preocupación informativa, que trataba de colmar las lagunas de conocimientos del Bachillerato y así, en el programa de Biología, se marcaron unos temas de anatomía y fisiología humanas que previamente no habían estudiado los alumnos más que a un nivel muy elemental.*

*Pero el Curso de Orientación Universitaria ha de seguir otros derroteros, más conformes con sus objetivos y con las modernas corrientes didácticas. En la disyuntiva de hacer «cabezas bien llenas» o «cabezas bien formadas», hay que elegir necesariamente este último objetivo y el C.O.U. tiene que ser un curso que, fiel a su nombre, oriente a los alumnos sobre las vías y los fines de las diversas ramas de la ciencia y de la cultura.*

*Me ha parecido, pues, adecuado dar en este libro una visión amplia y orientadora de los caminos de la Biología actual, de esa Ciencia renovada que hoy construyen en sus laboratorios miles de especialistas, haciendo mayor hincapié en algunas de sus ramas, las que hoy se nos aparecen en más profunda renovación, como son la Bioquímica, la Citología, la Genética, la Ecología o la Evolución.*

*El libro sigue un orden lógico en el que se consideran sucesivamente los diversos niveles de organización de la materia viva, el nivel molecular, el nivel individual y, finalmente, el nivel de las poblaciones. De cada uno de los niveles se exponen unas ideas generales y se detallan más algunos temas que me parecen de mayor interés y trascendencia. Sin embargo, he omitido bastantes detalles descriptivos, tanto por insistir más en los aspectos dinámicos que en los estáticos, como por suponer que el alumno trae ya un bagaje suficiente para poder profundizar en el sentido de los fenómenos biológicos más que para andar por su superficie.*

*He procurado que el libro estuviera ilustrado suficientemente, siguiendo en esto las líneas didácticas de actualidad, intentando que los esquemas sean claros, las ilustraciones atrayentes y los colores adecuados. Todas las ilustraciones llevan una explicación al pie, por lo que no hay referencias a ellas en el texto. Realmente, las ilustraciones son también «texto» y deben ser observadas y leído el pie con atención.*

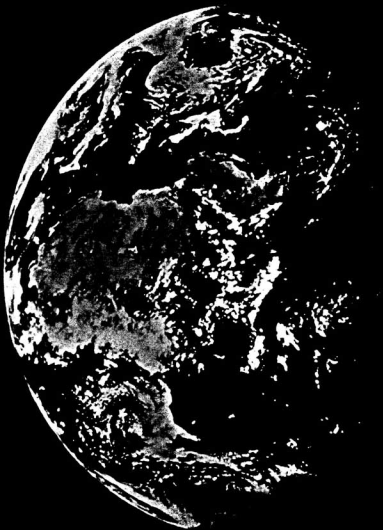
*Por último, quiero hacer una observación con respecto a la labor práctica. La Biología, cada día más, es una ciencia experimental y como tal debe ser estudiada. El alumno ha de ver tras cada página, tras cada párrafo, una realidad viva, que se puede observar y sobre la cual se puede experimentar. Para ello los Centros deben tener previstos laboratorios y, sobre todo, los alumnos deben tener tiempo previsto. Unas cuantas prácticas de Biología seleccionadas podrían bastar para ello en un curso de Biología para bachilleres, pero en este Curso de Orientación Universitaria, si ha de estar bien concebido y desarrollado para revelar en los jóvenes aptitudes y estimular la imaginación, la habilidad y la capacidad de organización, cada alumno (o, en todo caso, cada equipo de muy pocos alumnos), ha de planear y llevar a cabo dos o tres series de experimentos para abordar científicamente un problema biológico. Esta actividad inicia al alumno en las técnicas científicas de investigación, y le enseña a planear experimentos, buscar antecedentes en los libros, redactar fichas, tomar datos experimentales y todos aquellos otros métodos de las ciencias experimentales actuales.*

*Madrid, 1971.*



**PARTE PRELIMINAR**  
**LA BIOLOGIA ACTUAL**

A decorative graphic element on the right side of the text, consisting of a stylized arrow pointing to the right. The arrow has a triangular head and a tail that tapers to a point, with a small notch at the tip of the tail.



# LA BIOLOGIA COMO CIENCIA

*El concepto actual de la Biología no coincide sino en parte con los que nuestros antepasados manejaban en sus estudios sobre los seres vivos. En efecto, para los antiguos naturalistas, el estudio de los organismos, comprendido, junto con el de los objetos inanimados, bajo la amplia y venerable rúbrica de «Historia Natural», se reducía a la observación más o menos metódica de los seres naturales y a la utilización empírica de estos conocimientos en el cultivo, la cría y el aprovechamiento de unas pocas especies animales y vegetales. Sobre estos pocos conocimientos, y con demasiada frecuencia al margen de ellos, se elaboraban además complejas teorías filosóficas, que muchas veces retrasaron en gran medida el progreso de los conocimientos biológicos.*

*Modernamente, la Biología ha adquirido ya definitivamente la categoría de una Ciencia Experimental, en la que se utiliza el método científico, lo cual ha enriquecido profundamente sus técnicas, su contenido y también sus implicaciones filosóficas, elevando a las Ciencias Biológicas a un primer plano de la cultura. Conviene, pues, comenzar este libro dedicando un capítulo a dar una visión sobre el desarrollo de la Biología y sobre sus perspectivas actuales y futuras.*

## LOS SERES VIVOS

La **Biología**, desde el punto de vista etimológico, es la Ciencia que estudia los **seres vivos**. Pero para que esta definición tenga sentido, hay que decir qué se entiende bajo esta última denominación.

No es posible actualmente dar una definición de **vida**, pero sí podemos afirmar que los seres vivos se diferencian de los seres inorgánicos en que están dotados de una serie de **funciones**, más o menos complejas, pero idénticas en su esencia para todos ellos.

Estas funciones constituyen, en suma, lo que denominamos **vida** y son fundamentalmente la **nutrición**, que no es otra cosa que la capacidad de intercambiar materia y energía con el medio ambiente; el **crecimiento**, es decir, el aumento de masa viva como consecuencia de dicho intercambio; y la **reproducción**, que hace posible a los seres vivos la formación de otras unidades vivientes semejantes a ellos, las cuales les sustituirán en la naturaleza cuando ellos mismos hayan desaparecido.

Junto a estas funciones primordiales, los seres vivos ostentan otras funciones, en conexión con el medio ambiente en que viven, que se denominan funciones de **relación**, como el **movimiento** y la **irritabilidad**.

Finalmente, los seres vivos poseen otras características, consecuencia de sus funciones, como la **adaptabilidad** al ambiente y su capacidad de **evolución**, características éstas que han determinado, como veremos más adelante, que el mundo de los seres vivos se haya diferenciado a lo largo del tiempo en una serie enorme de modelos biológicos que reciben el nombre de especies.

## ESTRUCTURA Y FUNCION

Se cree hoy que las reacciones químicas y físico-químicas que suceden en los seres vivos no difieren en absoluto de las que ocurren en el mundo inorgánico, rigiéndose por idénticas leyes cualitativa y cuantitativamente. Sin embargo, en los seres inorgánicos no se puede hablar de funciones, ya que para que un determinado conjunto de reacciones químicas pueda consi-

derarse como una **función**, es absolutamente imprescindible que estas reacciones sucedan de un modo ordenado y coherente, y tengan su asiento en unas determinadas **estructuras** biológicas, cuyas características estructurales garanticen dichos orden y coherencia.

Las relaciones entre **estructura** y **función** se consideran hoy una de las cuestiones más importantes de la Biología, y su estudio se ha convertido últimamente en uno de sus más acuciantes objetivos. Es, precisamente, en la naturaleza de estas relaciones en donde los biólogos modernos ven con mayor claridad la diferencia entre los seres vivos y los que no lo son o, si se quiere, donde se puede vislumbrar con mejores y más objetivos criterios la verdadera naturaleza de lo que denominamos vida. En efecto, en una célula que acabamos de tratar por el calor hasta matarla, es muy posible que no hayamos llegado a alterar ni uno solo de sus componentes químicos, pero es absolutamente seguro que de alguna manera hemos destruido una estructura en que radicaba una función; en este hipotético supuesto, es incluso posible que se sigan produciendo la totalidad de las reacciones químicas cuyo conjunto formaba la función, pero estas reacciones ya no se producirán de la manera **ordenada** y **coherente** que la caracterizaba.

## **NIVELES DE ORGANIZACION**

El concepto de estructura y función nos lleva a otro concepto biológico general en que se fundamenta en gran manera la Biología actual: el concepto de **niveles de organización**.

Efectivamente, a consecuencia de la inseparable ligazón entre estructura y función, el mundo biológico se nos muestra organizado en **unidades funcionales estructurales**. Estas unidades no son todas de la misma complejidad, es decir, unas son más complicadas que otras, y con este criterio se pueden ordenar en unos **niveles de organización** o **niveles de complejidad**, cuyo estudio se suele realizar separadamente, no solamente porque de este modo el mundo biológico aparece racionalmente estratificado, sino también porque los niveles de organización suelen estudiarse con diversas técnicas y con diferentes instrumentos, por lo que se puede decir que, aproximadamente, a cada **nivel de organización** corresponde un **nivel de observación**.



En la actualidad se admiten en el mundo biológico cuatro grandes niveles de organización, el **nivel molecular**, el **nivel celular**, el **nivel individual** y el **nivel de las comunidades**.

A **nivel molecular** se estudian los **componentes físico-químicos** de los organismos y fundamentalmente sus **macromoléculas**, así como su disposición estructural en el citoplasma (forma) y las reacciones bioquímicas a que dan lugar entre ellos (función). Para el estudio de la Biología a este nivel se utilizan fundamentalmente técnicas físico-químicas, como la ultracentrifugación, la cromatografía, etc.

El **nivel celular**, como su nombre indica, se centra en la **célula**, unidad fundamental de los seres vivos, como objeto de estudio.

Es éste un nivel sumamente importante, pues la mayoría de los fenómenos biológicos tienen en él la clave. A este nivel se estudian tanto la célula en su conjunto como la naturaleza y la disposición de los orgánulos celulares (forma) y el funcionamiento de todos y de cada uno de ellos (función). La metodología del estudio a este nivel se basa especialmente en la utilización de los microscopios, tanto del óptico como del electrónico.

El **nivel individual** es el que corresponde a las entidades biológicas singulares, de vida más o menos independiente, que denominamos **individuos**. De ordinario, los individuos están formados por células constituyentes de tejidos, los cuales se reúnen en órganos y éstos en aparatos y sistemas. El estudio de los rasgos anatómicos y fisiológicos de los individuos es el estudio de la forma y de la función a este nivel, para el cual se utiliza una serie de técnicas que radican en la fisiología clásica, como el registro gráfico de los fenómenos, la medida y cuantificación de balances materiales y energéticos, etc.

Por último, el **nivel de las comunidades** es el de los individuos reunidos en las **colectividades naturales** así llamadas. Como toda entidad biológica, la comunidad tiene su forma o estructura (número, naturaleza y relaciones mutuas de sus componentes) y su función (cambios en las poblaciones que forman la comunidad) y su estudio se realiza en el campo, llevando detallados registros y haciendo constantes observaciones y recuentos de los individuos, que serán después objeto de un adecuado tratamiento matemático.

Como se ha podido observar, se puede en general afirmar que

las unidades biológicas de un determinado nivel se reúnen entre sí para formar en conjunto una unidad del nivel superior. Sin embargo, la realidad no es tan esquemática. A veces se confunden dos mismos niveles para un mismo objeto de estudio, como es el caso de los seres unicelulares (protozoos, bacterias, etc.) en el que el nivel celular y el individual coinciden. Por otra parte, muchas ramas de la Biología general se pueden estudiar a varios niveles, como sucede con la Genética, cuyo estudio abarca desde la Genética molecular (acción bioquímica del gen) a la Genética de las poblaciones, pasando por la Citogenética (Genética a nivel celular) y por la Genética clásica o mendeliana (Genética a nivel individual).

## EL METODO CIENTIFICO

Cuando hemos dicho que la Biología moderna es una **Ciencia experimental**, queríamos decir concretamente que en ella se utiliza el llamado **método científico**, el cual consiste en una serie de reglas y de modos de hacer intelectuales que han mostrado ya suficientemente su gran utilidad para el desarrollo de las ciencias.

El fundamento primero del método científico radica en la **observación** de los fenómenos naturales realizada con toda exactitud y escurpulosidad. La suma de las observaciones realizadas en estas condiciones acerca de un determinado fenómeno nos permite enunciar unas ciertas **proposiciones** o declaraciones de veracidad de algunos hechos concernientes al mencionado fenómeno.

Ayudado en estas proposiciones el científico elabora entonces una **hipótesis**, es decir, una explicación lógica que pueda satisfacer a las proposiciones sobre los hechos observados. Esta hipótesis ha de ser después sometida a una comprobación o **verificación**, es decir, ha de ser objeto de una serie de pruebas para ver si puede mantenerse como verdadera: estas pruebas son los **experimentos**.

El resultado esencial de un experimento es también una observación que nos lleva a enunciar una proposición verdadera. Pero, para llegar a esta observación, el experimentador **provoca** la realización del fenómeno y lo provoca de tal forma que **modifica** a su voluntad las condiciones en que aquél se produce.

Esta modificación de las condiciones depende de la habilidad y de la imaginación del experimentador, y es de importancia primordial para el experimento, pues no se trata de obtener solamente proposiciones verdaderas, sino también que estén en relación con la hipótesis formulada.

En general, los resultados de los experimentos tienden a verificar la hipótesis si coinciden con los resultados que podríamos esperar de ser aquélla cierta; dicho de otra manera: una hipótesis comienza a ser válida cuando se comprueba que sirve para **predecir** los resultados de los experimentos, pero como las variables que intervienen en los fenómenos biológicos son tan numerosas, es muy difícil que en Biología se pueda afirmar con toda seguridad que una hipótesis ha quedado **probada**. En el caso de que se hayan realizado gran número de experimentos y las proposiciones de ellos obtenidas concuerden siempre con la hipótesis, podrá elevarse ésta al rango de **teoría**, la cual es ya un sistema completo de proposiciones coherentes entre sí y con la hipótesis misma.

## **LAS ETAPAS DE LA BIOLOGIA**

Probablemente desde la más remota antigüedad el hombre ha debido de poseer conocimientos biológicos más o menos empíricos, que podrían ser considerados como el estrato más profundo de la historia de la Biología, aunque esos conocimientos hayan sido sobre todo útiles para el desarrollo de técnicas como la agricultura y la ganadería. También es seguro que los pueblos primitivos utilizaban procedimientos curativos empíricos contra las enfermedades, como la administración de hierbas medicinales o las prácticas quirúrgicas, de las que son ejemplo las trepanaciones que presentan algunos cráneos prehistóricos o las prácticas antiquísimas de la acupuntura en China. De todas maneras, en estas épocas remotas las prácticas medicinales e incluso las agrícolas están tan mezcladas con prácticas mágicas, que nos es muy difícil conocer su aspecto científico, teniendo en cuenta que los historiadores de la ciencia apenas han dedicado su atención hacia otros pueblos que los occidentales ni a otras épocas anteriores a la de la civilización griega. Sin entrar, pues, en la remota antigüedad, podemos considerar la historia de la Biología dividida en **tres grandes etapas**. La

primera comprende desde la aparición de la primera escuela biológica en Grecia en el siglo VI antes de Jesucristo hasta la muerte de Galeno hacia el año 200 de nuestra Era. La segunda se extiende aproximadamente durante un milenio, en que el conocimiento biológico, no solamente no progresa, sino incluso se pierde la herencia cultural del mundo clásico. La tercera etapa, que comienza a principios del siglo XIII, conoce un desarrollo de los conocimientos biológicos que comienza con el redescubrimiento de la ciencia griega y que, más adelante, da origen ya a una Biología de corte más original, sobre todo a partir del siglo XVII.

### Primera época

La primera escuela biológica aparece en la isla de **Cos**, en Grecia, aproximadamente el año 600 (a. de J.), con el médico **Hipócrates**, a quien se debe la primera teoría general sobre la composición de la materia viva, por lo que se le denomina el «padre de la medicina científica». Para Hipócrates de Cos, en efecto, todo ser vivo está formado por una sustancia o «crasis», que es una mezcla de cuatro «humores» o jugos que, combinados según distintas proporciones y maneras, darían como resultado las diferentes materias de que los distintos seres vivos se componen.

A los griegos se debe también el conocimiento de la variedad de seres vivos que puebla la tierra y el mar, especialmente de estos últimos, que se ven reproducidos con sorprendente exactitud en pinturas realizadas en vasos y platos que se encuentran en los museos. La máxima expresión de este conocimiento de los seres vivos se encuentra en **Aristóteles** (384-322 a. de J.), que es el primer sabio que merece indudablemente el nombre de biólogo. Aristóteles se ocupa de la naturaleza de la vida, estudia los animales y las plantas y es el autor de la primera clasificación de los animales entre «Animales con sangre» y «Animales sin sangre», clasificación que, con sus subdivisiones, es admitida hasta casi el siglo XVII. Su discípulo y sucesor en el Liceo, **Teofrasto de Eraso**, dedica su atención a las plantas, clasificándolas en árboles, arbustos, semiarbustos y hierbas, clasificación que tardó también muchos siglos en ser superada.

La división del Imperio de Alejandro tuvo la consecuencia afortunada para la ciencia de la fundación por Ptolomeo de la Es-

**cuela de Alejandría**, en Egipto, que recogió el saber biológico de sus antepasados y en la que florecieron figuras como **Erasítrato** y **Herófilo**, grandes anatomistas.

La hegemonía de los romanos termina con el esplendor de la Escuela de Alejandría y con el gran desarrollo de la Biología griega. Aparece entonces en Roma el famoso **Plinio**, cuya «Historia Natural» fue la más leída en los siglos sucesivos, perpetuándose en ellos, al par que los aciertos, el cúmulo de errores y supersticiones en que abunda su obra.

Esta primera etapa finaliza con la figura de **Claudio Galeno** (129-201), médico que ejerció en Roma con sin igual renombre y a quien se debe una obra científica muy valiosa. Galeno hizo una gran cantidad de disecciones en animales, aplicando sus enseñanzas al cuerpo humano, pero su mérito principal es que creó una anatomía funcional, es decir, que ponía siempre en relación las formas orgánicas con la finalidad que éstas deben cumplir. Su obra se mantuvo durante mucho tiempo y sus conocimientos (y también sus errores) pasaron a través de todo el Medievo hasta el Renacimiento.

## **Segunda época**

Durante los mil años siguientes, nada nuevo se aporta al conocimiento biológico, permaneciendo la Biología (lo mismo que las demás manifestaciones científicas) en un estado de marasmo en el que incluso se van perdiendo lentamente los conocimientos de la época clásica.

Algunas figuras, empero, aparecen aisladamente en el transcurso de estos «siglos oscuros», tratando de salvar la herencia cultural clásica por medio de unas compilaciones universales del saber contemporáneo; entre ellas merece especial mención **San Isidoro de Sevilla**, autor de las «Etimologías», tratado en que se recogen gran parte de las ideas biológicas de Aristóteles. Los conocimientos clásicos vuelven a entrar en Europa posteriormente a través del mundo islámico, singularmente gracias a las traducciones realizadas por los musulmanes españoles, sobre todo los pertenecientes a la **Escuela de Traductores de Toledo**. Es así como, a principios del siglo XIII, la Europa medieval descubre de nuevo la filosofía de Platón y la ciencia de Aristóteles, de cuyo conocimiento, combinado con la filosofía

cristiana, surge la **escolástica**, que ilumina a los clásicos bajo otro ángulo; la aparición de esta filosofía y la creación de las **Universidades** como centros de creación cultural, marcan una nueva etapa cultural.

### **Tercera época**

Las grandes figuras de la Ciencia en el siglo XIII son **Roger Bacon** (1214-1295) y **San Alberto Magno** (1206-1280). En las obras de este último aparecen ya estudios sobre plantas y animales, que marcan el inicio de esta tercera época de la Biología.

Durante el siglo XVI comienza a resurgir el estudio científico del hombre con grandes figuras, como **Andrea Vesalius** (1514-1564), creador de la escuela de anatomistas de Padua, y los fisiólogos **Miguel Servet** (1511-1553) y **William Harvey** (1578-1657), descubridores de la circulación de la sangre.

Pero el acontecimiento de la mayor trascendencia para la Biología en esta tercera época fue sin duda el descubrimiento del Nuevo Mundo, con los viajes y exploraciones de españoles y portugueses durante los siglos XV y XVI, que mostraron a los asombrados ojos de los hombres cultos europeos una fauna y una flora enteramente diversa y mucho más rica de las que ellos conocían, y que estimuló enormemente el estudio de los animales y de las plantas, apareciendo los primeros jardines botánicos y los museos de Historia Natural.

La figura cumbre en el estudio de la diversidad de los seres vivos fue en el siglo XVIII el gran naturalista sueco **Carlos Linneo** (1707-1778), quien clasifica a todos los animales y plantas conocidos utilizando el «sistema natural» y una nomenclatura binaria para nombrarlos que ha llegado a nuestros días. La aplicación del microscopio al estudio de los seres vivos constituyó un acontecimiento muy importante. **Robert Hooke** (1635-1703) descubrió en 1665 la estructura celular de las plantas e introdujo la palabra célula. Por su parte, el holandés **Anton van Leeuwenhoek** (1632-1723) exploraba el mundo microscópico con un microscopio simple construido por él, y lo hallaba constituido por millones de «animálculos», que son los que hoy denominamos microorganismos.

En el siglo XIX, los estudios biológicos alcanzan ya una gran madurez. Aparece la teoría celular, de tan gran trascendencia en la Biología moderna, enunciada por **Schleiden** en 1838 para las plantas y por **Schwann** en 1839 para los animales. La Microbiología se desarrolla mucho gracias a los trabajos de **Pasteur** y de **Koch**, entre otros muchos, y en 1865 aparece el primer trabajo importante sobre el mecanismo de la herencia biológica, debido a **Gregorio Mendel** (1822-1884).

Sin embargo, la más importante aportación a la Biología general durante el siglo XIX fue la doctrina del transformismo, o de la evolución de las especies, que fue defendida por **Darwin** y por **Lamarck**, contra la opinión de **Cuvier** y de sus seguidores, y sobre cuya interpretación tuvieron lugar interminables polémicas que llenaron gran parte de dicho siglo y aun del actual.

En el siglo XX el desarrollo principal de la Biología se realizó en el campo de la Genética, ya que solamente a principios de siglo fueron conocidos por la generalidad de los científicos los trabajos de Mendel a mediados del siglo anterior. Consecuencia de este «redescubrimiento» surge gran cantidad de genetistas que llevan a cabo un gran volumen de trabajo, singularmente los de la escuela del norteamericano **Morgan**.

## **LA BIOLOGIA ACTUAL**

Hemos trazado una rápida ojeada sobre las etapas que ha cubierto la Biología hasta llegar a ser como es en la actualidad. Veamos, pues, cuales son los rasgos fundamentales de la Biología que hoy se estudia y se elabora en el mundo.

La Biología actual sigue teniendo los mismos profundos objetivos que la Biología de otros tiempos, es decir, llegar a comprender cuál es la **naturaleza de la vida**, cómo fue su **origen** y por qué **mecanismos** se rige. Ahora bien, los avances técnicos en otras ciencias realizados sobre todo a partir de la terminación de la segunda guerra mundial, han modificado profundamente sus objetivos próximos. Por otra parte, en estos últimos años estamos tomando conciencia de que el hombre, a favor también de los inmensos progresos recientemente realizados en el campo de la técnica, es ya capaz de alterar tan profundamente la naturaleza, que puede llegar a destruir el hábitat humano.

Nos hallamos, pues, en la actualidad, ante una situación en que la **Biología** tiende a considerar principalmente dos niveles de organización: el **nivel molecular** y el **nivel de las comunidades**.

El primero de dichos niveles se ha desarrollado principalmente gracias al progreso de una serie de finas técnicas físico-químicas, que han proporcionado a los biólogos unos métodos sumamente útiles para la investigación a este nivel, como la ultracentrifugación o la microscopía electrónica: la utilización de estos métodos ha hecho posible la creación de una **Biología molecular**.

El estudio del nivel de comunidades nos ha llevado a una mayor comprensión de la **Ecología** y a la consideración del mundo como una unidad global de la que todos debemos responsabilizarnos.

## **EL FUTURO DE LA BIOLOGIA**

En los momentos actuales es muy difícil predecir el futuro de cualquier ciencia, pues dicho futuro está más que nunca ligado al destino de la humanidad que crea y desarrolla dicha ciencia; pero en el caso de la **Biología** es aún más difícil la predicción, pues el hombre es, al mismo tiempo que el **autor** de la ciencia, es también, por lo menos en parte, **objeto** de esta ciencia, y esta situación introduce unos factores éticos en la investigación biológica que pueden interferir en el desarrollo de algunas de sus direcciones, acelerando o retardando su ritmo o su aplicación.

Se prevén, no obstante, para un futuro más o menos lejano, la consecución de resultados espectaculares en la medicina y en la cirugía, como consecuencia de las investigaciones sobre la **reproducción**, la **genética** y la **fisiología**, entre los que probablemente serán los más importantes la manipulación en el cerebro por implantación de electrodos o de sustancias en sus distintas regiones, el injerto sin rechazo de la mayoría de los órganos y la inducción de cambios genéticos deliberados en las células (ingeniería genética).

Otros aspectos de la biología del futuro serán orientados hacia la **producción de más y mejores alimentos**, mediante el hallazgo de nuevos métodos de fabricación a expensas de materias pri-



mas no tradicionales, como la obtención de proteínas de los petróleos por medio de fermentaciones microbianas; la reforma ecológica de grandes superficies de la tierra en beneficio de la productividad, como la fertilización de los desiertos o el aprovechamiento racional de los océanos, etc.

Todo esto exige una **planificación** a nivel internacional muy cuidadosa, un **desarrollo** muy estricto de dichos planes y una **cooperación** internacional muy estrecha en beneficio de la humanidad. Si esto no se realiza así, y además con suma urgencia, las poderosas armas biológicas que el hombre tiene en su mano, al igual que las que la Física y la Química poseen, serán utilizadas, como hasta ahora sucede con demasiada frecuencia, en la **degradación de la naturaleza** (sobrepesca, utilización abusiva e incontrolada de insecticidas y herbicidas, contaminación del mar, de los ríos, del aire, etc.).

La **lucha contra esta degradación** que se está produciendo muy deprisa en áreas extensísimas de la tierra y que amenaza con destruir las condiciones de habitabilidad de todo el planeta es, sin duda alguna, la tarea primordial de la Biología del futuro.

PRIMERA PARTE  
NIVEL MOLECULAR





# NOCIONES DE BIOQUIMICA

*Todos los organismos, a despecho de su aparente heterogeneidad, están constituidos por idénticos componentes, que organizados de distintas maneras, forman el cuerpo de los millones de seres vivientes. Aun más, si atendemos a su composición, no hay una diferencia sustancial entre el cuerpo de los seres vivos y el de los inorgánicos, pues tanto unos como otros están formados por átomos de varios elementos químicos. No obstante, los átomos de estos elementos se organizan de modos distintos en los seres vivientes y en los inorgánicos, de manera que se ha hecho necesaria la creación de una rama especial, dentro del campo de la química, para el estudio de las agrupaciones moleculares privativas de los seres orgánicos y del funcionamiento de dichas agrupaciones moleculares. Esta rama se denomina Bioquímica.*

## LOS ELEMENTOS BIOGENESICOS

No todos los elementos químicos forman parte de la materia viva, aunque sí un número muy elevado de ellos, que se puede cifrar en algo más de la tercera parte de los existentes, se han descubierto en los seres orgánicos. Sobre todo, la proporción en que los distintos elementos colaboran a la constitución de con el nombre de **elementos biogénicos** a los que forman *pr* la materia viva es muy diferente. Esto justifica que se designe *mordialmente* el cuerpo de los seres vivos.

TABLA 1

Principales elementos biogénicos		
Carbono	Azufre	Flúor
Hidrógeno	Fósforo	Hierro
Oxígeno	Calcio	Silicio
Nitrógeno	Potasio	Cinc
	Sodio	Aluminio
	Cloro	Cobre
	Magnesio	Boro

Aunque todos los elementos biogénicos sean igualmente indispensables en los seres vivos, podemos establecer los diferentes grupos de elementos, según su importancia **cuantitativa**, tal como están en las distintas columnas de la Tabla 1.

Los elementos de la primera columna son los más abundantes, y ellos solos forman el 95 por 100 de la materia viva.

Les siguen en abundancia los elementos de la segunda columna, que completan, junto con los anteriores, hasta el 99,9 por 100 de la misma.

Los elementos reseñados en la tercera columna se hallan en la materia viva en proporciones pequeñísimas, lo que justifica el nombre de **oligoelementos** con que de ordinario se les designa.

Los elementos biogénicos se suelen hallar en la materia viva combinados entre sí, formando moléculas, algunas muy sencillas, como las del agua, y otras enormemente complicadas;

ciertos elementos pueden encontrarse formando sales inorgánicas y también en estado iónico. Estudiaremos ahora el agua y los **compuestos orgánicos**. En capítulos posteriores se estudiarán algunas de las acciones de los **iones** y de las **sales inorgánicas**.

## EL AGUA

En la materia viva juega el agua un papel muy importante, tanto por las elevadas proporciones en que se halla como por las diversas misiones que lleva a cabo en los organismos.

Los seres orgánicos son muy ricos en agua, aunque la proporción de esta sustancia varíe de unos organismos.

Los seres orgánicos son muy ricos en agua, aunque la proporción de esta sustancia varíe de unos organismos a otros y, dentro de ellos, sea también variable según se trate de uno u otro órgano.

TABLA 2

Contenido aproximado de agua en algunos organismos y órganos	
Medusas	95 %
Hoja de espinaca	90 %
<i>Fuligo</i> (micetozoo)	82 %
Estrella de mar	76 %
Organismo humano	66 %
Músculo	83 %
Cerebro	78 %
Corazón	70 %
Huesos	23 %

El agua en la materia viva ejerce su más importante papel como disolvente de una gran parte de los componentes de la misma, pero actúa también por sí misma en una serie de reacciones químicas (reacciones de hidrólisis).

## LAS SUSTANCIAS ORGANICAS

Aparte del agua y de la relativamente pequeña cantidad de sales inorgánicas e iones, los seres vivos están constituidos por unos

compuestos de carbono y de otros elementos (especialmente H, O y N), que son, por consiguiente, sustancias orgánicas. Estos compuestos son enormemente variados, pero se pueden estudiar agrupados en un reducido número de clases; las principales son los **glúcidos**, los **lípidos**, los **prótidos** y los **ácidos nucleicos**.

## LOS GLUCIDOS

Son sustancias en cuya molécula se encuentran ordinariamente sólo C, H y O. El nombre de **hidratos de carbono**, que también se les atribuye, se debe a que el H y el O suelen entrar en ellos en proporciones idénticas a las del agua y, además, los átomos de carbono están frecuentemente en igual cantidad que los átomos de oxígeno. Resulta de esto una falsa apariencia de estar compuestos de agua y carbono a partes iguales, es decir, de construir unas combinaciones del agua (hidratos) con aquel elemento.

Los glúcidos pueden dividirse para su estudio en **oligosacáridos** y **polisacáridos**, según el volumen de su molécula, lo que se traduce en distintas características físicas y químicas.

### Monosacáridos

Los **oligosacáridos** o **azúcares** son compuestos de molécula relativamente pequeña, muy solubles en agua, dulces y cristalizables. Los más sencillos son los **monosacáridos**, de fórmula general  $C_n(H_2O)_n$ , siendo  $n$ , de ordinario, 3, 4, 5 ó 6.

Los monosacáridos más importantes son los de cinco átomos de carbono (**pentosas**) y los de seis (**hexosas**).

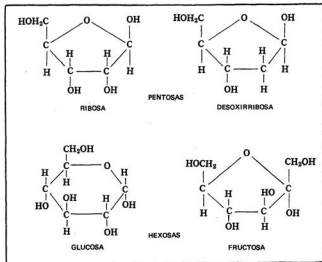
Las principales pentosas son la **ribosa** y la **desoxirribosa**; sus fórmulas respectivas son  $C_5H_{10}O_5$  y  $C_5H_{10}O_4$ . Después veremos la disposición de sus átomos en la molécula.

Las hexosas principales son la **glucosa** y la **fructosa**; ambas tienen la misma fórmula empírica  $C_6H_{12}O_6$ , pero, como se verá, la disposición de sus átomos es distinta.

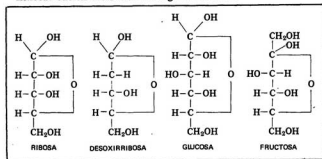
### Fórmulas desarrolladas de los monosacáridos

Las moléculas de los monosacáridos suelen hallarse en forma cíclica, es decir, formando un anillo de un número variable

de átomos. Su representación gráfica más concordante con la realidad es la que sigue:



Sin embargo, para mayor sencillez, las fórmulas de pentosas y hexosas suelen escribirse del siguiente modo:



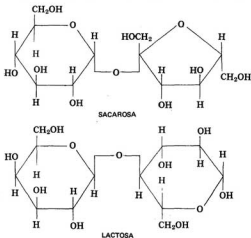


## Disacáridos

Los disacáridos son azúcares formados por la combinación de dos monosacáridos que, al unirse, liberan entre ambos una molécula de agua. Los más importantes están formados por dos moléculas de hexosa.



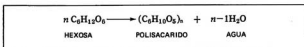
Son disacáridos de importancia la **sacarosa**, o azúcar común y la **lactosa** o azúcar de la leche. Ambas tienen la misma fórmula empírica  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ , pero se distinguen en los monosacáridos que las forman. La sacarosa está constituida por una molécula de glucosa y una de fructosa y la lactosa por una de glucosa y otra de una hexosa denominada galactosa.



Los disacáridos son también solubles, dulces y cristalizables.

## Polisacáridos

Son glúcidos de molécula muy voluminosa, formada por la combinación de un gran número de moléculas de monosacáridos, encadenadas de tal forma que, al unirse, liberan entre cada dos de ellas una molécula de agua. Estas moléculas, por su gran volumen, no son solubles en agua y desempeñan en los organismos el papel de materiales de reserva o el de materiales esqueléticos.



Los más importantes polisacáridos son el **almidón**, material de reserva propio de los vegetales, el **glucógeno**, que desempeña el mismo papel en los animales, y la **celulosa**, que constituye la sustancia esquelética más difundida en las plantas.

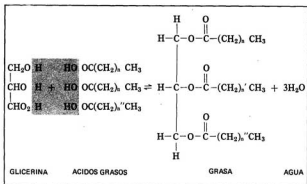
## Los lípidos

Son un grupo de sustancias compuestas de C, H y O, muy heterogéneas desde el punto de vista químico, pero que tienen propiedades físicas comunes, a saber, son insolubles en agua, solubles en el éter y en la gasolina, y de escasa densidad.

Hay un grupo de lípidos que tienen una composición química sencilla y que son los más abundantes: son las **grasas**. El resto de los lípidos, de composición más complicada, se denominan en conjunto **lipoides**.

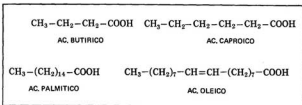
## Grasas

Son ésteres de la **glicerina** con los **ácidos grasos**. La glicerina es el propano-triol, es decir, un compuesto de tres átomos de carbono que en los tres lleva un grupo alcohólico. Como los alcoholes se combinan con los ácidos orgánicos para formar los ésteres, cada uno de los grupos alcohólicos de la glicerina puede combinarse con un ácido graso, de la siguiente manera:



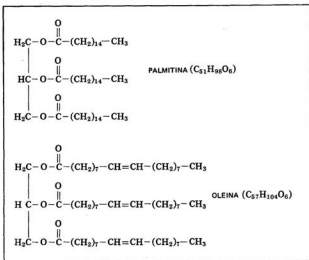
Cuando se forma una molécula de grasa a partir de sus componentes se liberan, pues, tres moléculas de agua.

Los **ácidos grasos** son unos ácidos orgánicos cuya cadena tiene longitud variable, pero cuya principal característica es la de constar siempre de un número par de átomos de carbono. Por ejemplo:



Cada grupo alcohólico de la glicerina puede combinarse con cualquier ácido graso, por lo que en teoría existe un enorme número de grasas distintas. En la práctica, en cada una de las grasas naturales la glicerina está saturada con un pequeño número de ácidos grasos distintos. Aun así, la heterogeneidad química de las grasas naturales es muy acusada, por lo que se suelen dividir atendiendo a su distinto punto de fusión en **acei-**

tes, mantecas y sebos, en orden a su más difícil fusibilidad. Hay grasas naturales que tienen los tres grupos alcohólicos de la glicerina esterificados con moléculas del mismo ácido graso, como por ejemplo, la palmitina y la oleína.

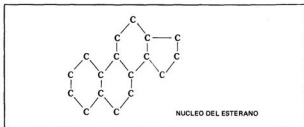


Las grasas suelen desempeñar en los organismos el papel de sustancias de reserva, y así, en los animales se acumulan en el tejido adiposo, el cual es más o menos abundante según el estado de nutrición del animal.

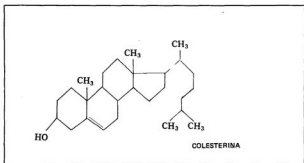
### Lipoides

Son sustancias de características físicas semejantes a las de las grasas, pero de composición química muy variada, en la que, a veces pueden entrar, además del C, H y O, el **fósforo** y el **nitrógeno**. Entre ellos mencionaremos las **ceras**, los **fosfolípidos** y los **esteroides**.





Los esteroides naturales son numerosísimos y sus funciones biológicas muy variadas. Baste decir que se cuentan entre ellos la **colesterina**, abundante en la bilis, la **vitamina D** y las hormonas **sexuales**.



### Los prótidos

La composición elemental de estas sustancias es más compleja que la de los glúcidos y lípidos, pues además de estar formados por C, H y O, tienen siempre N, muy frecuentemente S, y a veces otros elementos. Cuando se descomponen por hidrólisis, aparecen unos compuestos llamados **aminoácidos**, y a veces, además, otro tipo de sustancias. Los aminoácidos son, por consiguiente, los sillares fundamentales de las moléculas protídicas.

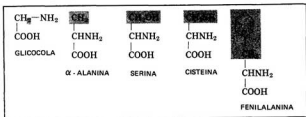
La fórmula general de los aminoácidos es:



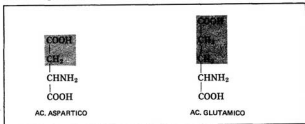
En ella podemos observar:

1. Que en el último de sus átomos de carbono hay una **función ácida**.
2. Que el átomo de carbono inmediato tiene una **función amina**; este carbono se denomina  $\alpha$ -carbono, de modo que todos los aminoácidos (con una sola excepción) son  $\alpha$ -aminoácidos.

El radical R es variable, como podemos observar en los siguientes ejemplos de aminoácidos.



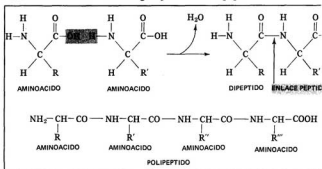
En algunos aminoácidos puede haber otro grupo ácido, como en los siguientes:



En otros, hay un grupo amino adicional, como, por ejemplo, en la lisina:



La principal característica química de los aminoácidos es su propiedad de combinarse entre sí, uniéndose el grupo ácido de uno de ellos con el grupo amino de otro, y de esta manera se forman cadenas más o menos largas que se llaman péptidos.



La unión  $\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{H} \\ || \quad | \\ -\text{C}-\text{N}- \end{array}$  entre dos aminoácidos es el **enlace peptídico**, que se verifica liberando una molécula de agua.

Entre los péptidos naturales más importantes figuran varias hormonas, como la **insulina** del páncreas y la **oxitocina** del lóbulo posterior de la hipófisis.



## Clases de prótidos

Además de los péptidos, formados por un número reducido de aminoácidos, existen los **proteidos**, entre los que hay que distinguir los **holoproteidos** o **proteínas** y los **heteroproteidos**, llamados también **proteínas conjugadas**.

Se distinguen entre sí ambas clases de prótidos porque los **holoproteidos** están constituidos exclusivamente por cadenas de péptidos, y, por consiguiente, dan lugar, en último análisis, a aminoácidos; en cambio, en la hidrólisis de los **heteroproteidos** aparecen, además de aminoácidos, moléculas de naturaleza química no proteica. Estos últimos pueden, pues, considerarse como compuestos de una gran molécula proteica (**grupo proteico**) y una molécula de naturaleza química distinta (**grupo prostético**).

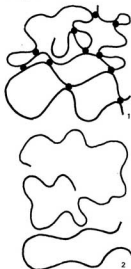
Las moléculas de los proteidos son siempre muy voluminosas y su peso molecular enorme; las más sencillas de entre ellas tienen un peso molecular comprendido entre 2.000 y 3.000 y las hay cuyo peso molecular es mucho mayor, como la miosina del músculo, que lo tiene de 850.000, o la hemocianina de la sangre de los moluscos, de peso molecular 6.700.000. Debido a este gran tamaño de las moléculas, los proteidos suelen formar en el agua disoluciones coloidales.

## Holoproteidos

Son las verdaderas proteínas, formadas únicamente por cadenas de péptidos, que se unen entre sí mediante puentes o enlaces laterales. Estos enlaces propios de cada molécula proteica son los responsables de la estructura espacial de la misma. Por el calor o por algunos agentes químicos (alcohol, formol, etc.), se destruyen o alteran estos enlaces, lo que da lugar a la **desnaturalización** de la molécula proteica; la desnaturalización altera completamente sus propiedades físicas y fisicoquímicas, de manera que una proteína soluble, como la que compone la clara del huevo, puede hacerse insoluble (coagularse).

Los proteidos constituyen los componentes más importantes de los seres vivos. Las enzimas son proteicas, y en la compo-

sición de la mayor parte de los orgánulos celulares predominan las proteínas.



Esquema de una molécula de una proteína globular: la quimiotripsina, enzima digestiva del hombre.

- ◀ Esquema de una proteína formada por dos polipeptidos.  
1.—En estado natural. 2.—Después de desnaturada, por rotura de los enlaces entre los aminoácidos de la misma cadena o de las dos que forman la molécula de proteína.

Se pueden dividir las proteínas en dos grandes grupos, atendiendo a la forma de sus moléculas: las **proteínas fibrilares**, que forman, sobre todo, la estructura de los tejidos, y las **proteínas globulares**, de misiones muy variadas. Entre las primeras figuran la **miosina** del músculo, la **queratina** de la piel, pelos y uñas y la **colágena** del tejido conjuntivo. Entre las globulares son muy importantes las **albúminas**, como la **seroalbúmina** de la sangre y la **lactalbúmina** de la leche, y las **globulinas**, importantes componentes del plasma sanguíneo.

### Heteroproteidos

Se dividen éstos en varios grupos, de acuerdo con la naturaleza química de su grupo prostético. Los de mayor interés son los siguientes:

**Glucoproteidos**, con un grupo prostético glucídico; uno de los de mayor significación biológica es la **mucina** de la saliva.

**Fosfoproteidos**, en cuyo grupo prostético entra el ácido fosfórico; el **caseinógeno** de la leche puede servir de ejemplo. Este es el compuesto que se convierte en **caseína** o cuajada cuando se coagula la leche.

**Cromoproteidos**, compuestos coloreados en cuyo grupo prostético hay un metal, como el Fe o el Cu; entre ellos figura como más destacada la **hemoglobina** de los glóbulos rojos.

**Núcleoproteidos**, formados por la unión de una proteína con unos compuestos complicados llamados **ácidos nucleicos**; debido a la gran importancia biológica de estos últimos, trataremos de ellos a continuación con mayor extensión.

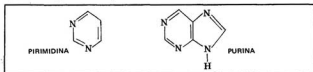
Los núcleoproteidos deben su nombre a que constituyen el principal componente del núcleo celular. Realmente existen también en el citoplasma y, como se verá más adelante, son los portadores de la información genética, es decir, los que, gracias a ligeras diferencias en sus moléculas, determinan las características hereditarias de los seres vivos.

## Los ácidos nucleicos

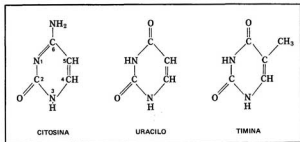
Estos compuestos forman unas largas cadenas en las que ordenadamente se enlazan los siguientes constituyentes: **pentosas**, **ácido ortofosfórico** y diversas **bases nitrogenadas**.

Las **pentosas** son, según los casos, la **ribosa** y la **desoxirribosa**, de las que ya hemos hablado anteriormente.

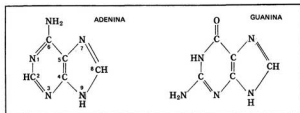
Las **bases nitrogenadas** son de dos clases, las **bases pirimidínicas** y las **bases púricas**, que se derivan, respectivamente, del núcleo de la **pirimidina** y del núcleo de la **purina**.



En los ácidos nucleicos se hallan tres bases pirimidínicas, a saber, la citosina, el uracilo y la timina.



Las bases púricas de dichos ácidos nucleicos son dos, la adenina y la guanina.


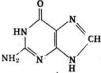








### Estructura de los ácidos nucleicos

Se conocen dos clases de ácidos nucleicos, que difieren entre sí por las pentosas y las bases pirimidínicas que entran en su composición, ya que ambos tipos contienen las dos bases púricas, la adenina y la guanina.

Los ácidos ribonucleicos (ARN) tienen como componente glucídico la ribosa; las bases pirimidínicas que entran en su composición son la citosina y el uracilo.

Los ácidos desoxirribonucleicos (ADN) tienen desoxirribosa y sus bases pirimidínicas son la citosina y la timina.

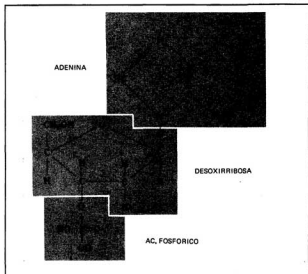
	ADN	ARN
PURINAS		
	<p style="text-align: right;">ADENINA</p>	
PURINAS		
	<p style="text-align: right;">GUANINA</p>	
PIRIMIDINAS		
	<p style="text-align: center;">CITOSINA</p>	
		
	<p style="text-align: right;">TIMINA</p>	<p style="text-align: right;">URACILO</p>
PENTOSAS		
	<p style="text-align: right;">DESOXIRRIBOSA</p>	<p style="text-align: right;">RIBOSA</p>
AC. FOSFORICO		
	<p style="text-align: right;">AC. FOSFORICO</p>	

Componentes de los ácidos nucleicos.

## Componentes de los ácidos nucleicos

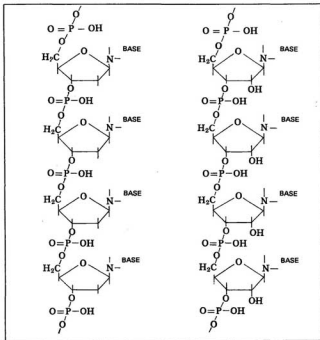
Los diversos elementos de los ácidos nucleicos se disponen de la siguiente manera:

Una molécula de ácido fosfórico, otra de pentosa y una base púrica o pirimidínica, se unen formando lo que se llama un **mononucleótido**. El ácido fosfórico de un mononucleótido se enlaza con la pentosa de otro mononucleótido, formándose así una cadena en la que se alternan un resto de ácido ortofosfórico con un resto de pentosa (ribosa en el ARN, desoxirribosa en el ADN); además, en cada resto de pentosa va engarzada una base púrica o pirimidínica.



Mononucleótido con adenina y desoxirribosa.

La cadena, formada, pues, por gran número de mononucleótidos, se llama **polinucleótido**, pudiéndose representar esquemáticamente los polinucleótidos de ARN y de ADN, respectivamente, de la siguiente manera:

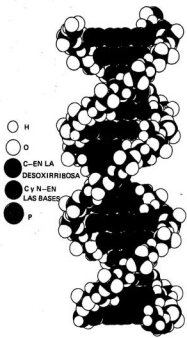


A la izquierda, polinucleótido de ADN; a la derecha polinucleótido de ARN.

Como quiera que las bases púricas y pirimidínicas se distribuyen a lo largo de la larguísima cadena en un orden determinado para cada polinucleótido, se comprende que caben infinito número de variantes de ácidos nucleicos, tanto de ARN, como de ADN.

Como se verá más adelante, las diferencias de ordenación de estas bases constituyen diferencias genéticas, es decir, hereditarias, por lo que, en suma, las diferencias corporales de toda índole dependen de dicha ordenación. En esto radica, fundamentalmente, la enorme importancia de los ácidos nucleicos.

[Se sabe, además, que el ácido desoxirribonucleico está constituido por dos cadenas paralelas y que se enrollan helicoidalmente entre sí, uniéndose las bases enfrentadas de una y otra cadena, una púrica con una pirimidínica (la guanina, con la citosina; la adenina, con la timina), de manera que las parejas de bases vienen a formar como los escalones de una escala de cuerda de la que las cadenas laterales serían los largueros. La escalera estaría retorcida sobre sí misma, de la manera que se indica en el dibujo.]



Esquema de un fragmento de una molécula de ADN. (P.—Ac: fosfórico; S.—Desoxirribosa; A.—Adenina; C.—Citosina; G.—Guanina; T.—Timina).

Modelo molecular de ADN (de Feughelman).





Agua  
oxigenada

110 vol. 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

STANGE

# LAS ENZIMAS

*En los organismos se están constantemente realizando infinidad de reacciones químicas entre los compuestos que forman la materia viva.*

*Para que la vida de los organismos se realice con normalidad, es necesario que estas reacciones sucedan ordenada y rápidamente.*

*De esto se encargan unas proteínas, las enzimas, que catalizan las reacciones biológicas, esto es, provocan, en virtud de su sola presencia, la realización de estas reacciones.*

*Dado lo fundamental de estas reacciones se puede afirmar que en la acción enzimática se apoyan todas las actividades vitales.*

- ◀ **Acción de la enzima catalasa de las células vegetales. Descompone el  $H_2O_2$  en  $H_2O$  y  $O_2$  gaseoso, que forma espuma sobre el tomate tratado.**

## CONSTITUCION DE LAS ENZIMAS

Las **enzimas** son de **naturaleza proteica**, pero en la mayor parte de los casos su constitución es heterogénea, pudiéndose distinguir:

- Una **porción proteica**, constituida por una gran molécula, llamada **apoenzima**.
- Una **porción no proteica**, adsorbida sobre la apoenzima, denominada **coenzima**.

La enzima completa, formada por la apoenzima y la coenzima, es la **holoenzima**.

## ACCION ENZIMATICA

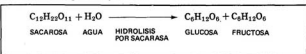
La acción de las enzimas se caracteriza por ciertas propiedades, que son las siguientes:

### Acción catalítica

Al igual que los catalizadores inorgánicos, la acción de las enzimas es un fenómeno de **catálisis**, es decir, que lo que provoca la reacción química es la simple presencia del catalizador; en consecuencia, el catalizador (la enzima) apenas se gasta en el proceso, y se necesitan **cantidades pequeñísimas** de enzimas para que reaccionen **cantidades muy grandes** de sustancias químicas: Una parte de **amilasa** puede hidrolizar 4.000 partes de almidón; una parte de **cuajo** sirve para coagular 800.000 partes de caseína; una molécula de **catalasa** puede descomponer hasta 5.000.000 de moléculas de peróxido de hidrógeno.

### Especificidad

La acción enzimática es **específica**, esto es, cada enzima cataliza una determinada reacción y sólo ésta. Así, la **sacarasa** hidroliza la **sacarosa** en glucosa y fructosa



pero no ejerce ninguna acción sobre otros disacáridos, como la **lactosa**; para hidrolizar a ésta se requiere la presencia de otra enzima, la **lactasa**.

El compuesto químico cuya reacción cataliza la enzima se llama **sustrato**; en general, cada enzima obra exclusivamente sobre un sustrato.

### **Influencia del pH sobre la acción enzimática**

La **acidez** o **alcalinidad** del medio influyen de modo muy importante sobre la acción enzimática. Existen ciertas enzimas que solamente ejercen su función en un ambiente ácido (como la **pepsina** del jugo gástrico) y otras que solamente son eficaces en medio alcalino (la **ptialina** de la saliva).

De todas maneras, para cada enzima existe un límite superior y otro inferior de pH, fuera de los cuales aquélla no puede actuar. Entre estos límites existe un pH óptimo, en el cual la acción de la enzima alcanza su máxima eficacia.

### **Influencia de la temperatura sobre la acción enzimática**

Como en el caso de la acidez y de la alcalinidad, también en el de la **temperatura** para cada enzima existen unos límites mínimo y máximo fuera de los cuales no hay acción enzimática, así como hay un **óptimo de temperatura** a la que la eficacia de la acción enzimática es mayor.

Cuando se sobrepasa el límite superior de temperatura, las enzimas que, como se ha dicho anteriormente, son proteínas, se **desnaturalizan**, es decir, pierden la estructura peculiar que posee su molécula. Esta estructura molecular es absolutamente precisa para la realización de la acción enzimática, lo que explica la detención de esta acción cuando se eleva la temperatura más allá de dicho límite máximo.

La desnaturalización de las enzimas, como la de las demás proteínas, es un **fenómeno irreversible**, de manera que si se eleva la temperatura lo suficiente para desnaturalizar las enzimas del citoplasma, se interrumpen todas las reacciones químicas en el organismo y, por consiguiente, sobreviene la **muerte**.

## CLASIFICACION DE LAS ENZIMAS

Las enzimas se clasifican según sea la clase de reacción química que determinen, es decir, según la **naturaleza de su acción específica**. Con algunas excepciones, se denominan con el nombre de la sustancia sobre la que actúan (el **sustrato**) terminado en la desinencia **-asa**. Por ejemplo, sobre los **peptidos** actúan las **peptidasas**, sobre los **lípidos**, las **lipasas**, etc.

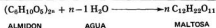
Mencionaremos solamente algunas de las más importantes clases de enzimas.

### a) Hidrolasas

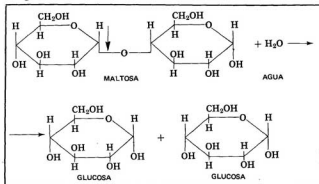
Son enzimas que catalizan reacciones de **hidrólisis**, en las cuales un compuesto orgánico complejo se escinde en dos compuestos más sencillos, rompiéndose un enlace en el que se fijan los elementos de una molécula de **agua**.

Ejemplos:

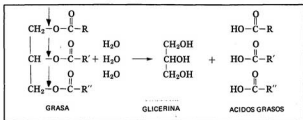
**Amilasa:** Hidroliza el almidón en maltosa



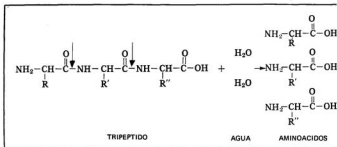
**Maltasa:** Desdobra por hidrólisis la molécula de **maltosa** en dos de **glucosa**



**Lipasas:** Descomponen una molécula de **grasa** en una de **glicerina** y tres de **ácidos grasos**



**Peptidasas:** Rompen los **enlaces peptídicos** de los **péptidos**, liberando moléculas de **aminoácidos**

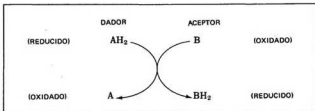


## b) Oxido-reductasas

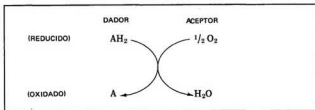
Estas enzimas, como su nombre indica, son las que intervienen en las **oxidaciones** y **reducciones** celulares, determinando la **transferencia del oxígeno** o del **hidrógeno** de unos compuestos a otros. Son las que intervienen en el proceso respiratorio celular.

Ejemplos:

**Deshidrogenasas:** Transfieren dos átomos de **hidrógeno** de un compuesto (**dador de hidrógeno**) a otro (**ceptor de hidrógeno**). El primer compuesto queda, pues, **oxidado**, y el segundo, **reducido**.



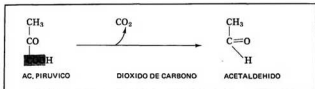
**Oxidasas:** Transfieren dos átomos de **hidrógeno** de un compuesto al **oxígeno** del aire, que funciona como **aceptor de hidrógeno**. El compuesto queda **oxidado** y el oxígeno se combina con el hidrógeno para formar **agua**.



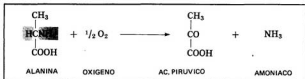
### c) Otras enzimas

Otros tipos de reacciones pueden ser catalizadas por enzimas. Como ejemplos podemos mencionar las **decarboxilasas** y las **desaminasas**.

Las **decarboxilasas** determinan la liberación de **dióxido de carbono** a partir de ácidos orgánicos. Por ejemplo:



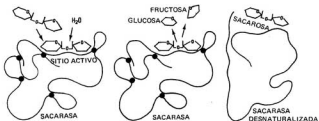
Las **desaminasas** producen la liberación de **amoníaco** de los aminoácidos, en general incorporando un átomo de oxígeno. Por ejemplo:



### MECANISMO DE ACCION DE LAS ENZIMAS

Para que se lleve a cabo la reacción química catalizada por una enzima, es necesario que una molécula de sustrato **se adhiera** a la superficie de la enzima, formándose un **complejo enzima-sustrato**. A continuación se produce la correspondiente reacción química en el sustrato (hidrólisis, decarboxilación, etc.), y una vez realizada ésta, el sustrato **se desprende** de la enzima, quedando así sitio libre para otra molécula de sustrato. Esto sucede con gran rapidez, lo que nos explica la **gran actividad bioquímica** de las enzimas.

El lugar de la superficie de la enzima donde se adhiere el sustrato (llamado **sitio activo**), se adapta exactamente a la estructura molecular de dicho sustrato, por lo que se dice que la



Esquema del mecanismo de acción de una enzima. Se ha puesto de ejemplo la sacarasa, pero la forma de la molécula se ha dibujado de modo arbitrario.

- 1.—Una molécula de sacarosa se ha adherido al sitio activo.
- 2.—Se ha producido la hidrólisis de la molécula anterior y otra molécula de sacarosa ocupa ya el sitio activo.
- 3.—La molécula de sacarosa ha sido desnaturalizada. En la parte de la superficie que era el sitio activo no puede ya ajustarse la molécula de sacarosa.



enzima «reconoce» al sustrato y lo adsorbe sobre su superficie, con exclusión de cualquier otro de estructura molecular distinta. Esto nos da la clave de la **especificidad enzimática**.

Pero si la enzima se desnaturaliza por el calor o se altera por cualquier otro agente físico o químico, cambia la estructura de su superficie de tal manera que **ya no puede reconocer** a los sustratos, lo que nos explica que la desnaturalización de las enzimas vaya acompañada de la **pérdida de la acción enzimática**.

## **PAPEL FISIOLÓGICO DE LAS ENZIMAS**

Prácticamente la totalidad de las reacciones químicas catalizadas por enzimas se pueden llevar a cabo en el laboratorio, fuera de los organismos y sin la intervención de catalizadores. Sin embargo, en estas condiciones es necesario operar a temperaturas muy elevadas y con agentes químicos muy activos, condiciones éstas incompatibles con las actividades vitales.

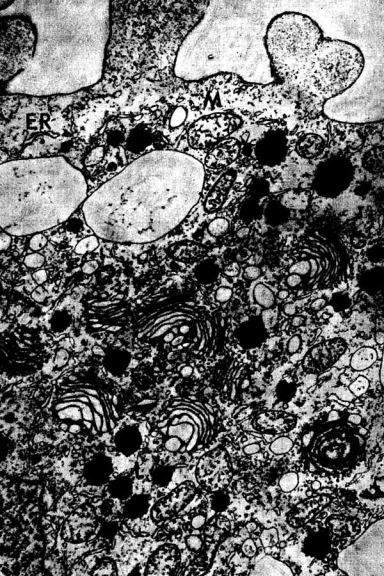
En los organismos, en cambio, y gracias a las enzimas, estas mismas reacciones se llevan a cabo a **temperaturas relativamente bajas** y a **pH cercano a la neutralidad**.

Por otra parte, en los organismos, las reacciones químicas catalizadas por las enzimas se desarrollan **ordenadamente**, unas después de otras, en un orden indispensable para que se cumplan los objetivos de cada uno de los organismos. Esto es posible gracias a que la acción de las enzimas está **regulada** indirectamente por los propios productos de la reacción catalizada. En general puede decirse que si se produce una reacción en exceso, los productos resultantes inhibirán el funcionamiento de la enzima para que no se siga produciendo la reacción.

Las diversas enzimas pueden servir a la fisiología de los organismos de dos maneras distintas. Unas actúan en el interior de las células, catalizando en ellas los diversos procesos químicos de su metabolismo: son las **enzimas intracelulares**. Por el contrario, otras enzimas salen de las células para realizar al exterior su acción enzimática: son las **enzimas extracelulares**. Entre estas últimas figuran las enzimas digestivas, que en el hombre y en los animales se vierten al tubo digestivo para verificar en él las transformaciones químicas que harán a los alimentos aptos para su absorción y para su asimilación.

SEGUNDA PARTE  
NIVEL CELULAR





# LA CELULA. MORFOLOGIA CELULAR

*La definición clásica de la célula dice que ésta es la unidad anatómica y fisiológica de todo ser vivo. A pesar de los progresos que ha realizado la Biología en los últimos años, esta definición conserva todo su valor. Es verdad que se ha logrado que actúen fuera de la célula algunas enzimas y orgánulos intracelulares, como cloroplastos o mitocondrias, pero esto solamente ha sido posible durante un tiempo breve y en condiciones experimentales. Los diversos orgánulos celulares no pueden funcionar indefinidamente si no están integrados en esa unidad funcional llamada célula, cuya organización estructural garantiza una sucesión de reacciones químicas encadenadas armónicamente.*

◀ Porción de una ameba vista al microscopio electrónico.

K – Núcleo ER – Retículo endoplasmático M – Mitocondria G – Dictiosoma

L – Gotas de lipoides (de Grell).

## MORFOLOGIA DE LA CELULA ANIMAL

Aunque en el cuerpo de los animales existe una gran variedad de células, cada una de ellas adaptada a la función o funciones que desempeña en el organismo, existen caracteres comunes que definen a la **célula animal** en general.

Desde el descubrimiento del microscopio electrónico y de las técnicas especiales que permiten su utilización con fines biológicos, se conocen muy bien las distintas partes u **orgánulos** que la forman.

La mayoría de estos orgánulos eran ya conocidos por observaciones verificadas con el microscopio óptico, pero solamente los grandes aumentos obtenidos por el electrónico nos han permitido conocer con precisión la íntima estructura de las células. A continuación, veremos los elementos constitutivos de todas las células animales.

## LOS SISTEMAS DE MEMBRANAS EN LA CELULA

Las **membranas** son unos elementos constitutivos importantes de la célula, por lo cual comenzaremos por estudiar la estructura general de dichas membranas, que es la misma para los diferentes sistemas que hay en la célula, aislándola del exterior o formando la limitante de algunos de los orgánulos.

La microscopía electrónica nos ha enseñado que las distintas membranas de la célula tienen una misma estructura, por lo que se les llama **membranas unitarias**.

Una membrana unitaria tiene un grosor de unas 7,5 nm (1) y está formada por dos capas paralelas, oscuras, de unas 2 nm cada una, que limitan una capa central más clara que mide 3,5 nm de espesor. Diversos datos obtenidos por los bioquímicos sugieren que la capa intermedia está formada por dos estratos de moléculas de fosfolípidos y que las dos capas exteriores son proteicas.

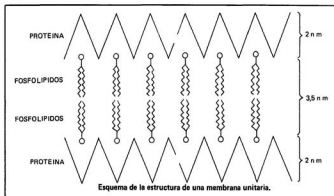
---

(1) En microscopía electrónica no se suele utilizar como unidad de longitud la micra ( $\mu = 0,001$  mm), pues resulta demasiado grande: se utilizan, frecuentemente, la nanomicra ( $\text{nm} = 0,001 \mu$ ), también llamada milimicra ( $\text{m} \mu$ ) y el Ångstrom ( $\text{Å} = 0,1$  nm). Recientes acuerdos internacionales aconsejan emplear solamente la micra y la nanomicra.

## La membrana citoplasmática

Una de estas membranas unitarias es la membrana citoplasmática o, simplemente, **membrana celular**.

Esta limita y rodea a toda la célula, constituyendo su frontera; por consiguiente, está encargada de controlar todos los intercambios de la célula con su medio ambiente.



A expensas de esta membrana se forman en muchos protozoos y en algunas otras células animales unas **vacuolas digestivas**, por medio de las cuales la célula se apropia de alimentos sólidos. La membrana de estas vacuolas es, pues, una parte emancipada de la membrana citoplasmática y, por consiguiente, tiene su misma estructura de membrana unitaria.

En algunas células, la membrana citoplasmática muestra unas diminutas invaginaciones que se convierten después en unas minúsculas vacuolas por las que la célula ingiere alimentos líquidos; el fenómeno se llama **pinocitosis**, o acción de «beber» de la célula.

## EL CITOPLASMA

Hacia dentro de la membrana celular aparece un líquido viscoso, el **hialoplasma**, inmersos en el cual hay otros sistemas de membranas: el **retículo endoplasmático** y el **aparato de Golgi**.

Además, esparcidos por el hialoplasma existen unos orgánulos celulares limitados por membranas unitarias: las **mitocondrias**, los **lisosomas** y el **núcleo**; y otros orgánulos no limitados por membranas: los **ribosomas** y los **centriolos**.

Tradicionalmente se viene llamando **citoplasma** a toda la porción celular incluida dentro de la membrana citoplasmática, con exclusión del núcleo.

En el citoplasma de la célula animal se encuentran también **Inclusiones** lipídicas y proteicas, que no son otra cosa que materiales elaborados por la célula y cuya distribución y abundancia son peculiares de cada estirpe celular.

## **EL RETICULO ENDOPLASMATICO**

Es un conjunto de membranas unitarias que se extiende en capas más o menos paralelas y que forma una colección de cavidades irregularmente aplanadas, llamadas **cisternas**.

De ordinario, a las membranas del retículo endoplasmático están adosadas por su cara externa (es decir, la cara que mira hacia fuera de las cisternas) los orgánulos granulares denominados **ribosomas**, de los que hablaremos más tarde.

Parte del retículo endoplasmático rodea al material nuclear, constituyendo la **membrana nuclear**: las cisternas de esta porción del retículo, muy angostas, forman, pues, una cavidad entre las dos hojas de dicha membrana nuclear, la cual recibe la denominación de **espacio perinuclear**.

## **EL APARATO DE GOLGI**

Una parte especializada del retículo endoplasmático recibe el nombre de **aparato** o **sistema de Golgi**.

Se trata de un conjunto de membranas unitarias que forman unas cisternas o sáculos pequeños, aplastados y apilados en grupos de cuatro o cinco; cada uno de estos grupos se denomina **dictiosoma** y el conjunto de dictiosomas es el aparato de Golgi.

Al revés de lo que ocurre en el retículo endoplasmático típico, las membranas que forman los dictiosomas no están nunca flanqueadas por ribosomas, por lo que el aparato de Golgi se designa también con el nombre de **retículo agranular**.

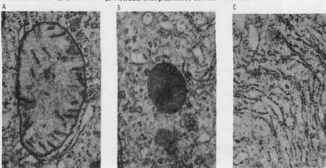
## LAS MITOCONDRIAS

Esparcidos por el citoplasma se hallan siempre unos corpúsculos redondeados, muchas veces más o menos alargados, que se llaman **mitocondrias** y cuyas dimensiones están entre 1  $\mu$  y 4  $\mu$ . Las mitocondrias tienen una estructura muy peculiar, que las hace fácilmente reconocibles en las microfotografías electrónicas.

Cada mitocondria tiene en conjunto la forma de un saco o globo, cuya cubierta exterior es una membrana unitaria que la separa por completo del hialoplasma, la **membrana mitocondrial externa**. Hacia el interior, y separada de la externa por un estrecho espacio, se ve otra membrana unitaria, la **membrana mitocondrial interna**, pero ésta no es lisa, como la anterior, sino replegada en unos profundos pliegues o **crestas** que se dirigen más o menos perpendicularmente a la superficie, de manera que crean en el interior de la mitocondria unos compartimientos in-

Estructuras celulares vistas al microscopio electrónico.

A. Mitocondria. B. Lisosoma. C. Retículo endoplasmático con sus ribosomas.





completos de los que las crestas son los tabiques. La cavidad mitocondrial está ocupada por una sustancia llamada **matriz** de la mitocondria.

## LOS LISOSOMAS

Son también unas a modo de bolsitas rodeadas por una membrana unitaria. Pero, a diferencia de las mitocondrias, esta membrana es única y no replegada, por lo que no forma crestas. El contenido de los lisosomas es una sustancia homogénea y densa.

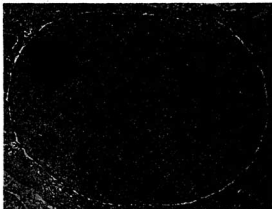
## EL NUCLEO

Este orgánulo, sin duda uno de los más importantes de la célula, aparece generalmente como una vesícula central grande, redondeada, aunque no son raras las células en las que hay más de un núcleo o en las que el núcleo tiene forma distinta a la esférica.

Núcleo celular visto al microscopio electrónico.

Mn — Membrana nuclear, con su espacio perinuclear.

Pn — Poro de la membrana nuclear. N — Nucleolo.



El interior del núcleo está separado del citoplasma, como ya hemos visto, por una parte especial del retículo endoplasmático que forma una doble membrana (con un **espacio perinuclear**) alrededor del núcleo, parte que merece el nombre de **membrana nuclear**. Dicha membrana nuclear presenta unas interrupciones a modo de **poros** que comunican el interior del núcleo con el exterior, pero no con el espacio perinuclear, ya que los poros perforan simultáneamente las dos capas de la mencionada membrana nuclear. Digamos de paso que, como veremos más adelante, esta membrana nuclear desaparece en cierta fase de la vida de la célula, integrándose y confundándose entonces con el resto del retículo endoplasmático.

La membrana nuclear encierra un espacio lleno de un líquido, el **carioplasma** o **nucleoplasma**, en el que están suspendidos los elementos principales del núcleo, a saber, los  **cromosomas** y el **nucléolo**.

Los  **cromosomas** son unos filamentos larguísimo, que en el núcleo en reposo aparecen desenrollados y enredados unos en otros, por lo que no se pueden apreciar de ordinario como tales. Como veremos más adelante, cuando la célula vaya a dividirse, se enrollarán en espiral, se harán visibles y mostrarán los detalles de su estructura.

Los cromosomas están formados por **ácido desoxirribonucleico** y **proteínas** y son los orgánulos en que está inscrito el «programa» para la vida de esa célula y de sus descendientes. Son, pues, los orgánulos celulares que dirigen la vida de la célula y contienen la información genética.

El **nucléolo** es un acúmulo de gránulos ricos en **ácido ribonucleico** y en **proteínas**, parecidos a los ribosomas, que miden aproximadamente 15 nm de diámetro: en el nucléolo existe una gran cantidad de ARN que está parte en los gránulos, pero también en el material que hay entre ellos.

El nucléolo no está separado del nucleoplasma por membrana alguna, por lo que no ostenta contornos precisos.

## **LOS RIBOSOMAS**

Son unos gránulos de unas 15 nm de diámetro que se caracterizan por su contenido en **ARN**, lo que les da su nombre; también son ricos en proteínas.

Los **ribosomas** son numerosísimos y su localización dentro del citoplasma nuclear es muy variada: unos están libres en el hialoplasma y otros están adosados a la superficie externa de las membranas del retículo endoplasmático; en este último caso, el conjunto de retículo y ribosomas recibe el nombre de **ergastoplasma**.

Cada ribosoma se compone realmente de dos **subunidades ribosómicas** distintas, una mayor que otra, que se adhieren mutuamente formando una unidad. A veces se reúnen varios ribosomas para dar origen a un conjunto funcional llamado **polisoma**.

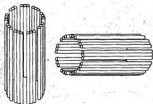
## CENTRIOLOS

En las células animales se encuentran constantemente estos diminutos orgánulos, cuya importancia en la dinámica celular veremos después. Generalmente, los centriolos se hallan cerca del núcleo en las células en reposo y, como se verá, en la célula en división ocupan un lugar predominante.

La microscopía electrónica nos ha enseñado que los centriolos están formados por unos túbulos de un diámetro de 20 nm. Estos túbulos se disponen constantemente en nueve grupos de tres cada uno, que forman como las generatrices de un pequeño cilindro de unas 150 nm de diámetro por unas 400 nm de largo. A su vez, cada uno de los tripletes (o conjunto de tres túbulos) está orientado oblicuamente con respecto al triplete vecino, lo que

Esquema de la disposición de los túbulos en los centriolos que forman un diplosoma.

Fotografía electrónica de un diplosoma.

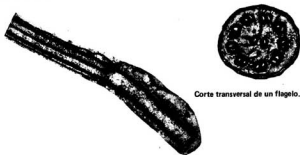


confiere a los cortes transversales de dicho orgánulo un aspecto muy característico.

Hay que hacer notar que en la célula en reposo hay siempre una pareja de centriolos dispuestos perpendicularmente entre sí, los cuales forman un conjunto denominado diplosoma.

## LOS CILIOS Y LOS FLAGELOS

No en todas las células animales, pero sí en muchas de ellas, existen, además de los orgánulos estudiados en las líneas precedentes, ciertos orgánulos vibrátiles que sirven para mover la célula o para que la célula mueva los objetos del medio ambiente celular (partículas, líquidos).



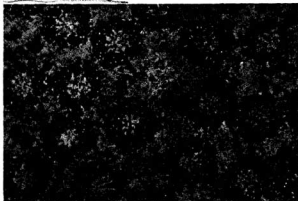
Corte transversal de un flagelo.

Corte longitudinal de un flagelo con su bifaroplasto.

Estos orgánulos vibrátiles tienen todos una estructura idéntica, pero tradicionalmente se distingue entre flagelos y cilios, según ciertas características de menor interés: si son escasos y largos, se denominan flagelos; si son numerosos y cortos, reciben el nombre de cilios o pestañas.

Los cilios y los flagelos existen en determinadas células de todos los grupos de animales, desde los flagelados a los vertebrados, con excepción de los artrópodos, de modo que se pueden considerar como los orgánulos genuinos del movimiento de las células animales.

Los cilios y los flagelos tienen un diámetro de unas 20 nm y sobresalen más o menos de la superficie celular, pero revistiéndose con la misma membrana celular, que se convierte así en la vaina del cilio o del flagelo.

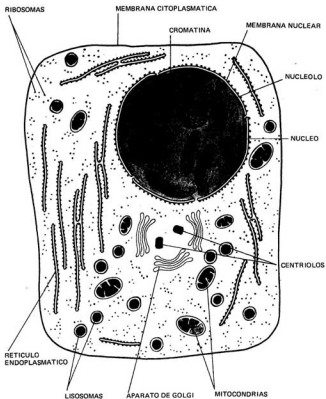


Corte transversal de un conjunto de cinetosomas.

En la base de cada flagelo o cilio hay un centriolo típico, que recibe distintas denominaciones (blefaroplasto cuando se halla en la base de un flagelo; cinetosoma o gránulo basal cuando subyace a un cilio), pero que siempre muestra la estructura característica del centriolo, con los nueve triplete de túbulos que forman un pequeño cilindro. Este centriolo está orientado perpendicularmente a la superficie celular.

Pero lo más notable es que, en este caso, de los tres túbulos de cada triplete, dos de ellos se prolongan a lo largo del cilio o flagelo, de manera que un corte transversal de éste nos muestra nueve parejas de túbulos dispuestas circularmente; hay además otros dos túbulos, situados en el eje del orgánulo vibrátil, que no tienen su origen en el centriolo, sino un poco por encima de él.

El sistema de  $9(\times 2) + 2$  túbulos es, evidentemente, la parte contráctil del orgánulo, mientras que alrededor, la membrana celular convertida en vaina, no representa más que su envoltura.



Esquema de una célula animal.

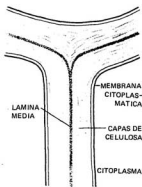
## LA CELULA VEGETAL

Las células de los vegetales tienen una organización fundamental igual que las células animales. Sin embargo, difieren de éstas en cuatro características, a saber, la **ausencia de centriolos** (y, por consiguiente, de flagelos y de cilios), la existencia de una **membrana esquelética**, la posesión de un **sistema vacuolar** sumamente desarrollado y la presencia de los orgánulos llamados **plastos**. Estudiaremos, pues, estos tres elementos celulares privativos de las células vegetales.

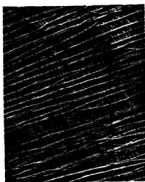
### LA MEMBRANA ESQUELETICA

A la célula animal se le suele llamar célula «desnuda» porque no tiene protección alguna frente al ambiente, a excepción de su delicadísima membrana celular. Las células de las plantas poseen, en cambio, una protección adicional formada por una membrana rígida, gruesa, exterior a la membrana celular, que recibe el nombre de **membrana esquelética** o **pared celular**. El resto de la célula, con excepción de dicha membrana esquelética, se denomina **protoplasto**.

Esquema de la organización de una membrana esquelética vegetal.



Fibrillas de celulosa en una membrana vegetal, vistas al microscopio electrónico.



En la mayor parte de las plantas (en todas ellas, excepto en los hongos) la pared celular se compone principalmente de **celulosa**, dispuesta en capas paralelas a la superficie de la célula. La capa más externa de la membrana esquelética es de una sustancia llamada **pectina**, que se ablanda fácilmente en agua caliente.

Como las células vegetales están en estrecho contacto unas con otras, esta capa externa de pectina suele ser común a dos células vecinas y en este caso se denomina **lámina media**. A ambos lados de esta lámina media se disponen paralelamente las láminas de celulosa que forman las paredes celulares de una y otra célula, que permanecen sólidamente unidas a no ser que se traten con agua caliente, en cuyo caso, al ablandarse y desaparecer la lámina media, quedan separadas ambas células vecinas.

La membrana celulósica es rígida y así mantiene la forma de la célula vegetal. Sin embargo, cuando se produce el crecimiento del vegetal, puede estirarse mucho, permitiendo alargarse y crecer a la célula que protege.

### **El sistema vacuolar**

Las células vegetales presentan en su citoplasma unas cavidades llenas de líquido llamadas **vacuolas**. Estas vacuolas son pequeñas en las células jóvenes, pero en las adultas se hacen muy grandes, de tal manera que algunas células vegetales tienen la mayor parte de su citoplasma ocupado por grandes vacuolas. Las vacuolas están en comunicación con las cisternas del retículo endoplasmático o, mejor dicho, son realmente **cisternas del retículo endoplasmático** enormemente desarrolladas.

Unas veces el líquido que se almacena en las vacuolas tiene la significación de un material alimenticio o de reserva, o la de un producto de excreción. Pero en muchos casos las vacuolas contienen simplemente agua con muy pocas sustancias disueltas.

En este caso, las vacuolas aumentan simplemente el volumen celular; esto explica el rapidísimo crecimiento de los vegetales en la primavera cuando se les facilita agua abundante.



## Los plastos

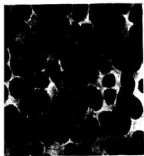
En el citoplasma de las células vegetales hallamos unos orgánulos que no existen en las células animales y que tienen una enorme trascendencia para la nutrición de las plantas: se trata de los **plastos**.

Existen varias categorías de plastos. Unos, son simplemente acumuladores de sustancias incoloras y son llamados **leucoplastos**, que a su vez pueden ser **amiloplastos**, **oleoplastos** y **proteoplastos**, según se deposite en ellos almidón, lípidos o prótidos.

Otros plastos se caracterizan por la posesión de **pigmentos**: son los **cromoplastos**. Entre estos últimos tienen una importancia excepcional los **cloroplastos**, en los que se localiza la **clorofila**, el pigmento asimilador de los vegetales.

La forma y número de los cloroplastos en las diferentes células vegetales que los poseen es muy variada. En las células del alga filamentosa *Spirogyra*, los plastos son acintados y dispuestos en hélice, existiendo uno o dos plastos en cada célula, según la especie. En las *Zygnema*, que es otra alga filamentosa, existen en cada célula dos grandes plastos estrellados. En el flagelado vegetal *Cblamydomonas* existe un solo plasto en forma de copa. En las células de los vegetales superiores, los plastos son pequeños, numerosos y más o menos lenticulares, recibiendo también el nombre de **granos de clorofila**.

Cloroplastos en las células de la lenteja de agua.



Cloroplasto helicoidal de una célula de *Spirogyra*.



La estructura de los plastos en los vegetales superiores, tal como se puede apreciar por la microscopia electrónica, es la siguiente:

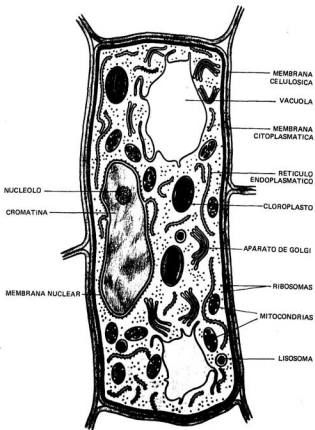
Cada cloroplasto está rodeado de una membrana unitaria denominada **membrana plastidial externa**, de unos 7,5 nm de espesor. Por dentro de ésta hay otra membrana unitaria, del mismo espesor, la **membrana plastidial interna** que, como en el caso de las mitocondrias, se pliega en algunos puntos, dirigiéndose sus repliegues hacia el interior. En el caso de los plastos, los repliegues de la membrana interna se dirigen preferentemente en la dirección del eje mayor del plasto, y constituyen unas **laminillas** paralelas y muy numerosas.

Apoyadas en estas laminillas aparecen de cuando en cuando unas pilas de cuatro o cinco sáculos redondeados, unos encima de otros, que contienen en su interior moléculas de clorofila ordenadas en una o dos capas. Las pilas de sáculos, cuyo diámetro es de  $0,5 \mu$ , se pueden ver con el microscopio óptico, cuando se observan de plano, como unos circulitos verdes, y se llaman los **granos**.

Esparcidos por entre el interior del cloroplasto entre las laminillas y los granos, hay algunos **granos de almidón** y **gotitas lipídicas**, productos de la actividad del cloroplasto.



Microfotografía electrónica de un cloroplasto en el flagelado. *Chlamydomonas* (Foto E. Dísz).  
P - Pirenoide (centro de la elaboración del almidón).  
L - Laminillas.  
G - Grano.



Esquema de una célula vegetal.

## Células eucarióticas y células procarióticas

Todo lo que anteriormente se ha dicho sobre la célula animal y la célula vegetal, no es de aplicación a otro tipo de seres de organización biológica inferior, que son las **cianofíceas**, las **bacterias**, los **micoplasmas** y los **virus**. Pero como a las unidades biológicas de estos seres se les puede también llamar células (con la excepción, quizá, de los virus), se ha convenido en llamar **células eucarióticas** (esto es, con núcleo verdadero) a las células de animales y vegetales y **células procarióticas** (es decir, con núcleo primitivo) a las demás unidades biológicas a las que acabo de referirme.

Se distinguen fundamentalmente células eucarióticas y procarióticas en que las primeras son las únicas que tienen un núcleo típico, con membrana nuclear durante su fase vegetativa y con varios cromosomas visibles en su fase reproductora. Sin embargo, existen otras diferencias, por lo que daremos una breve información sobre las distintas formas inferiores de vida.

### La célula bacteriana

Las células de las bacterias se parecen a las de los vegetales en que tienen también una **pared celular** por fuera de la membrana citoplasmática; sin embargo, esta pared celular no es celulósica, sino compuesta de otras sustancias, entre las que hay unos hidratos de carbono nitrogenados.

Por otra parte, como las bacterias son unicelulares, la pared celular de cada una de ellas no está adherida a la de su vecina, como en el caso de las células vegetales, por lo que no existe una lámina media.

A veces, sin embargo, existe una gruesa capa de polisacáridos o de otras sustancias en la parte exterior de la pared celular bacteriana, capa que recibe el nombre de **cápsula**.

El protoplasto bacteriano puede dar origen a veces a unos **flagelos** contráctiles, que sirven para el movimiento, pero estos flagelos no tienen la estructura de los de las células eucarióticas, sino que son simplemente unas fibrillas de una proteína contráctil.

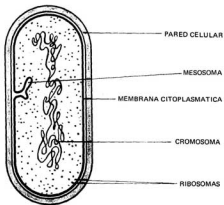
El citoplasma de las bacterias está limitado por una **membrana** unitaria igual que la que limita el de las células eucarióticas. Esta membrana tiene a veces unos repliegues hacia el interior que se denominan **mesosomas**.

Las bacterias no tienen mitocondrias, ni centriolos, ni tampoco retículo endoplasmático. En cambio, existen **ribosomas** en gran número, esparcidos por todo el citoplasma bacteriano.

Algunas bacterias poseen clorofila. Sin embargo, este pigmento no está contenido en plastos, sino contenido en unos diminutos gránulos llamados  **Cromatóforos**.

Pero la mayor diferencia entre la célula bacteriana y las células eucarióticas radica en el material nuclear. Este se compone también de **ADN**, pero organizado en **un solo cromosoma**, muy delgado, que se cierra sobre sí mismo a la manera de una larguísima hebra anular, que se apelotona en el centro de la bacteria, sin que exista ningún tipo de membrana que la aísle del resto del citoplasma. Este núcleo primitivo, sin membrana nuclear y con un solo cromosoma anular es el denominado **núcleo procariontario**.

Esquema de una célula bacteriana.



## Otras células procarióticas

Otros seres unicelulares primitivos están también organizados como células procarióticas.

Los **micoplasmas**, pequeños organismos parásitos, son como diminutos protoplastos bacterianos, sin pared celular, ni cápsula, ni flagelos. Su capa más externa es, pues, la membrana citoplasmática, mientras que el resto de su organismo es parecido al de las bacterias.

Las **cianofíceas** son unicelulares o filamentosas y también parecidas a las bacterias, en su organización. Se diferencian de éstas en que su tamaño es algo mayor y en que todas poseen clorofila, pero no contenida en cromatóforos, sino en unas pocas **láminas** paralelas formadas por membranas unitarias.

Por último, los **virus** son formas de organización para las que el nombre de célula puede parecer poco apropiado. Sin embargo, tienen el material nuclear dispuesto de manera parecida a las bacterias, en un **cromosoma anular**, y además una **cubierta proteica**. Es, pues, en este sentido de poseer el material nuclear dispuesto como en un núcleo procariótico, por lo que puede aplicárseles esta designación.

Partículas de virus de la poliomielitis.





# LA CELULA. FISIOLOGIA CELULAR

*En el capítulo anterior se ha ofrecido una visión de conjunto de la morfología de la célula, con la descripción de sus orgánulos y de las relaciones anatómicas entre ellos.*

*Sin embargo, esta es una visión estática, y la célula es todo lo contrario de un ser estático. Es, por consiguiente, necesario que la imagen de la célula sea la de un ser vivo, móvil, dinámico, en la que cada uno de los orgánulos aparezca realizando constantemente una o varias funciones, al servicio del trabajo fisiológico total de la célula.*

*En el presente capítulo se ofrece la que se ha intentado que sea una visión funcional y dinámica de la célula: las distintas funciones de los orgánulos celulares y sus interrelaciones fisiológicas.*



## LA DINAMICA DE LA MEMBRANA CELULAR

La membrana no es sólo una barrera que separa a la célula del medio ambiente, sino también su **órgano de relación con dicho medio**. A través de la membrana pasan incesantemente hacia el interior las sustancias necesarias para la nutrición celular, y hacia fuera las que la célula elimina al exterior, bien por innecesarias o perjudiciales, bien porque ejerzan una misión fuera de la célula. Dos son, pues, las misiones primordiales de la membrana celular, la **absorción** y la **excreción**.

### Absorción de sustancias a través de la membrana celular

La absorción propiamente dicha a través de la membrana celular, no se ejerce más que cuando las sustancias que han de ser absorbidas son de pequeño peso molecular. En este caso, el paso a través de la membrana se puede hacer a veces por simple difusión, pero lo más frecuente es que se haga mediante la intervención de unas **enzimas** que están en el espesor de la membrana, que se llaman **permeasas**.

Las permeasas se combinan a un lado de la membrana con la sustancia que ha de atravesarla y se desprenden de ella al otro lado. Es fácil darse cuenta de que, como las enzimas son específicas, cada permeasa tendrá su correspondiente sustrato, por lo que no podrán atravesar la membrana más que determinadas sustancias. Esta propiedad de la membrana celular se designa con el nombre de **permeabilidad selectiva**, ya que gracias a ella la célula puede seleccionar las sustancias que entran en ella.

### Fagocitosis

Y Cuando las sustancias nutritivas están integradas en partículas grandes, la célula las englobará formando una **vacuola digestiva**, por el fenómeno llamado **fagocitosis**.

La formación de una vacuola digestiva es un fenómeno que puede suceder de formas variadas. En unos casos, como en las amebas o los leucocitos, intervienen unas eminencias citoplasmáticas, los **pseudópodos**, que crecen alrededor de la partícula y se unen después, encerrando a la partícula con un poco de líquido.

En otras células, como en los protozoos ciliados, los orgánulos vibrátiles provocan con su movimiento una corriente de agua que arrastra la partícula o partículas, entrando agua y partículas en suspensión por un punto determinado, llamado boca.

En ambos casos, el resultado es la formación de una vacuola digestiva, cuya principal característica es que su membrana limitante es una porción de la membrana celular que se ha desprendido de ella en el momento de formarse la vacuola. Para que las sustancias nutritivas puedan atravesar ahora la membrana de la vacuola, necesitan convertirse en sustancias de menor peso molecular, que pasarán al citoplasma por absorción, lo mismo que en el caso anterior.

### Pinocitosis

Las sustancias de gran peso molecular disueltas en el medio ambiente celular no pueden pasar directamente a través de la membrana celular, sino son tomadas por la célula mediante **vacuolas de pinocitosis**, que son como diminutas vacuolas digestivas cuyo contenido es sólo líquido y cuya membrana es también un fragmento de la membrana celular. También en este caso, antes de atravesar la membrana de la vacuola, tendrán que sufrir una transformación química apropiada.

Vacuola digestiva en el citoplasma de un ciliado.



Microfotografía electrónica de la membrana citoplasmática de una célula en donde se ve una vacuola de pinocitosis en formación y otra ya formada.



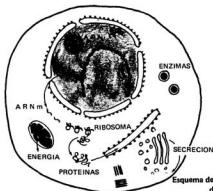
## FUNCION PRIMORDIAL DEL NUCLEO

El núcleo puede presentarse desde dos aspectos totalmente distintos, según la célula esté o no en división.

A cada fase de división de la célula sigue un período en el que el núcleo no presenta cambios perceptibles a la observación microscópica, hasta que se produce una nueva fase de división. Cuando la célula no se divide se dice, pues, que está en una **interfase** o que tiene un **núcleo interfásico**.

Se sabe desde hace mucho tiempo que el núcleo es el auténtico director de las funciones celulares. Ningún citoplasma privado de núcleo puede seguir viviendo y, como veremos más adelante, todo el funcionamiento de la célula depende de la actividad nuclear. Por ahora nos limitaremos a decir que la misión de los cromosomas en el núcleo interfásico consiste en sintetizar ARN, el cual se acumula en parte en el nucléolo y en parte sale por los poros de la membrana nuclear para formar los ribosomas e intervenir en la síntesis de las proteínas en el citoplasma.

Muchas de estas proteínas son enzimas que habrán de intervenir a su vez en los cambios químicos del metabolismo, por lo que el núcleo interfásico ha recibido también el nombre de **núcleo en estado metabólico**.



Esquema de las principales funciones de los orgánulos celulares.

## **PAPEL DE LOS RIBOSOMAS Y DEL RETICULO ENDOPLASMATICO**

Se sabe hoy que los ribosomas son los orgánulos de la **síntesis proteica**. Mediante un complicado y preciso mecanismo, del que se hablará más tarde, y en el que interviene el ARN producido en el núcleo, en los ribosomas se producen constantemente las cadenas de **polipéptidos** que constituirán las proteínas, enzimáticas o no, de la célula.

Dadas las relaciones de vecindad entre ribosomas y retículo endoplasmático, es probable que algunas de las proteínas sintetizadas se acumulen temporalmente en las cisternas de dicho retículo, y, desde luego, algunas otras sustancias pueden acumularse ocasionalmente en las referidas cisternas; el retículo parece ser, pues, una especie de **depósito regulador** de las sustancias producidas en el citoplasma, y al mismo tiempo, una **vía de transporte** de sustancias de unas porciones a otras de la célula.

## **FUNCION DEL APARATO DE GOLGI**

Las cisternas que forman el aparato de Golgi dan origen por toda su periferia a unas **vesículas** diminutas, que son el resultado de su actividad fisiológica. Estas vesículas emigran después por el citoplasma, saliendo a veces al exterior o rompiéndose en otro lugar de la célula.

Estas imágenes y otros datos bioquímicos han sugerido que el aparato de Golgi es un orgánulo celular en el que se **concentran** y **acumulan** determinadas sustancias, las cuales son transportadas después en las vesículas.

Cada dictiosoma se considera, pues, como un **orgánulo secretor** de la célula, encargado de segregar un producto que se elimina en las vesículas, llamadas por esta razón **granos de secreción**. Hay que hacer notar que este producto segregado se acumularía en ciertos casos para dar lugar a una formación de utilidad a la célula, en cuyo caso le conviene bien ser llamado producto de **secreción**, pero en otras ocasiones sería expulsado de la célula, sin utilidad alguna para la misma, resultando en este caso más apropiado el término de **excreción**.

## **FUNCION DE LAS MITOCONDRIAS**

Las funciones de las mitocondrias son variadas. Por ejemplo, en las mitocondrias pueden **acumularse** ciertas sustancias y **sintetizarse** otras. También parece que las mitocondrias intervienen en la **transmisión hereditaria** de los caracteres. Pero hay una función cuya importancia predomina sobre las demás, y es la de **generar la energía** para las funciones celulares. Efectivamente, los trabajos que llevan a cabo los orgánulos celulares exigen un gasto de energía y esta energía proviene, como veremos más adelante, de una serie de procesos químicos que se llaman, en términos generales, **procesos respiratorios**.

Pues bien, estos procesos respiratorios se realizan en las mitocondrias, que por esta razón han sido llamadas las **centrales de energía celulares**.

Los procesos respiratorios se realizan en varias fases: en la matriz de las mitocondrias se localizan las fases primeras y en las crestas mitocondriales las últimas fases. Todas estas reacciones respiratorias exigen la intervención ordenada de muchas enzimas y se cree que dichas enzimas están localizadas precisamente en la membrana mitocondrial interna, cuyas dimensiones se hacen mayores al replegarse dicha membrana formando las referidas crestas.

## **PAPEL DE LOS LISOSOMAS**

El elevado contenido en enzimas de estas diminutas vesículas celulares hace que ordinariamente se consideren como unos orgánulos relacionados con el metabolismo celular, destinados al **transporte** y posiblemente a la **elaboración de enzimas**. Su importancia es, sobre todo, considerable en las células que practican la fagocitosis, en las que se lleva a cabo una verdadera digestión intracelular.

## **FUNCIONES Y ORIGEN DE LOS CENTRIOLOS**

En las células animales, los centriolos pueden asumir dos misiones distintas. Por un lado, en las células que poseen cilios o

flagelos, la misión de los **centriolos periféricos** es la de **dar nacimiento a estos orgánulos vibrátiles** prolongando los túbulos que forman el centriolo para dar origen a los túbulos flagelares.

Por otra parte, los **centriolos que radican en la vecindad del núcleo** van a desempeñar un papel importante en la **división celular**, ostentando, al parecer, el papel de directores y orientadores de los fenómenos nucleares que suceden en dicha división.

Sin embargo, el hecho de que en las células vegetales no existen centriolos, a pesar de lo cual la división celular es en sus rasgos esenciales idéntica a la de las células animales, quita importancia a los centriolos en este aspecto.

También se distinguen los centriolos centrales de los periféricos (que es preferible llamar cinetosomas) en cuanto a su **origen**. En ambos casos un centriolo nace siempre en la vecindad de otro centriolo, al parecer inducida su aparición por la existencia previa de éste; ahora bien, los **centriolos centrales** inducen siempre la aparición de otro centriolo **perpendicular** al primero (formando entre ambos el diplosoma), mientras que los **cinetosomas** inducen la aparición de un centriolo **paralelo** al anterior, de manera que los cilios a los que den origen serán a su vez paralelos entre sí y perpendiculares a la superficie celular.

## LA MITOSIS

Al llegar las células a un determinado momento de su vida, se **reproducen**, es decir, producen otras células semejantes a ellas. La reproducción o multiplicación celular es un proceso de **división**, por medio del cual una célula (**célula madre**) se divide en dos partes (**células hijas**) que luego crecerán hasta alcanzar el tamaño característico de la estirpe celular de que se trate.

Del proceso de multiplicación celular deben resultar dos células hijas iguales a la célula madre. Para ello es necesario que en ambas células hijas existan los mismos orgánulos, y especialmente que los cromosomas del núcleo se repartan por igual.

Esto se asegura por un proceso llamado **mitosis**, que es, sin duda, el acontecimiento más importante de la división celular. La mitosis se divide en varias fases: **Profase**, **metafase**, **anafase** y **telofase**, que estudiaremos a continuación.

## **Profase**

Hemos dicho anteriormente que en el núcleo interfásico no se pueden reconocer los cromosomas, por estar completamente desenrollados y entrecruzados de tal manera que forman una maraña inextricable de finísimos filamentos.

En la **profase** estos filamentos comienzan a enrollarse (a **espiralizarse**) y, en consecuencia, a hacerse más cortos, de modo que podemos darnos cuenta de la constitución de cada uno de los cromosomas.

Un cromosoma profásico se compone de dos filamentos paralelos, las **cromátidas**, que se unen entre sí en un punto por medio de un gránulo denominado **centrómero**.

Al principio de la profase estas cromátidas están todavía muy desespiralizadas, pero paulatinamente cada cromátida se va arrollando sobre sí misma a la manera de un largo muelle (**espiral menor**). Esta primera espiralización hace que aumente el grosor aparente de la cromátida, que se hace ya visible al microscopio.

No obstante, al principio de la profase todavía no se puede apreciar en el interior del núcleo más que un conjunto de cromátidas espiralizadas formando una especie de ovillo al que los antiguos citólogos llamaban **espirema**.

Al final de la profase, las cromátidas espiralizadas experimentan un nuevo enrollamiento, formando ahora otra espiral de segundo orden (**espiral somática**) que hace que cada cromátida se acorte y se haga más gruesa, acortándose todo el cromosoma y apareciendo al microscopio un conjunto de cromosomas claramente distintos unos de otros encerrados en la membrana nuclear.

Mientras tanto, en el citoplasma de la célula han sucedido otros acontecimientos en conexión con los cambios cromosómicos, que merecen ser explicados.

El diplosoma de la célula **duplica** sus dos centriolos, de lo que resulta **un nuevo diplosoma**, junto al antiguo.

Al mismo tiempo, alrededor de ambos diplosomas aparecen unas fibras radiantes, el aster, dándose al conjunto de aster y de diplosoma el nombre de **centrosoma**.

Los dos diplosomas se van separando, cada uno de ellos rodeado de un aster, y entre ambos (que son ya dos centrosomas) aparecen unas nuevas fibras que unen los dos centrosomas y que ostentan en conjunto un aspecto de huso o tonelete, llamado **huso acromático**.

La microscopia electrónica nos ha demostrado que tanto las fibras del aster como las del huso acromático están formadas por unos haces de **túbulos** de unas 20 nm, que no se ponen nunca en contacto material con los centriolos.

El alejamiento de los centrosomas lleva a éstos a situarse en dos extremos de la célula, y esto es importante porque su posición determinará, como veremos, el emplazamiento de los dos nuevos núcleos y, además, el plano de división entre ambas células hijas, que será perpendicular al eje del huso acromático.

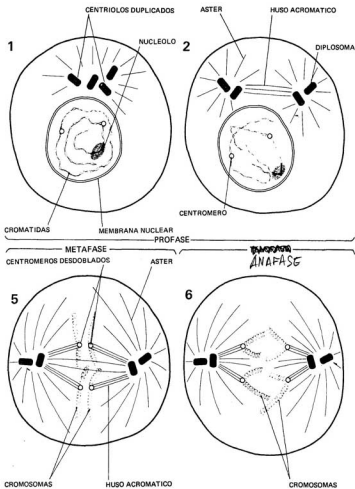
En este momento, espiralizados por completo los cromosomas, duplicado el centrosoma y formado el huso acromático, el nucléolo desaparece y **la membrana nuclear se desagrega**, separándose unas de otras las porciones del retículo endoplasmático que la dieron origen, con cuyo fenómeno se puede dar por terminada la profase.

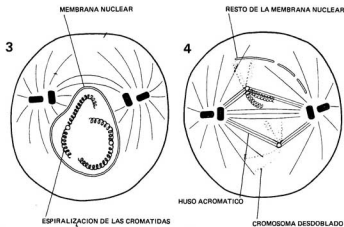
## **Metafase**

Al comenzar la metafase los dos centrosomas ocupan polos opuestos de la célula, y entre ellos se extienden las fibras del huso acromático.

Como la membrana nuclear ha desaparecido, los cromosomas están dispersos en el citoplasma, en la vecindad del huso, formando un grupo desordenado.





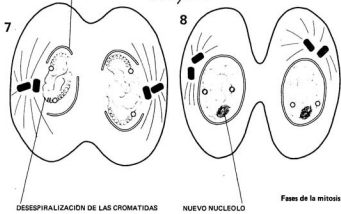


PROFASE

~~ANAFASE~~

TELOFASE.

MEMBRANA NUCLEAR



Fases de la mitosis.

Ahora los cromosomas se colocan en el ecuador del huso acromático, insertándose el centrómero de cada uno de ellos en unas fibras del huso llamadas **fibras cromosómicas**. Los brazos de los cromosomas se sitúan todos en el mismo plano perpendicular al huso, generalmente dirigidos hacia el exterior, de manera que en conjunto forman una figura estrellada denominada **placa ecuatorial** o **placa metafásica**.

### **Anafase**

Al comienzo de la anafase, cada uno de los centrómeros **se divide en dos**, emigrando a continuación cada uno de los dos centrómeros hijos en sentido opuesto y arrastrando en su movimiento la cromátida correspondiente.

De este movimiento resulta la formación de dos lotes de cromosomas, formados cada uno de ellos por una sola cromátida, que van a los dos polos del huso, a medida que se van acortando las fibras cromosómicas.

### **Telofase**

Es la fase final de la mitosis, que conduce a la formación de los dos núcleos hijos. En la telofase suceden los siguientes acontecimientos:

Los cromosomas hijos, reunidos en dos lotes, comienzan a **desespiralizarse**, de manera que pronto se harán inobservables al microscopio, al alcanzar la estructura propia de la interfase. Se observará que cada cromosoma tiene ahora solamente una cromátida, mientras que al principio de la profase lo encontramos con dos, lo que significa, evidentemente, que la duplicación de las cromátidas se produce precisamente durante el período interfásico.

Las fibras del huso acromático van desapareciendo paulatinamente, mientras alrededor de cada uno de los lotes de cromosomas el retículo endoplasmático se organiza en una nueva **membrana nuclear**.

Por último, en cada uno de los dos núcleos hijos se forma un **nucléolo**, elaborado por los cromosomas desespiralizados que contiene.

De este modo queda completado el proceso de la mitosis en lo que se refiere al núcleo.

## **CITODIERESIS**

En la inmensa mayoría de los casos, la división nuclear va acompañada de una división del citoplasma, completándose de esta forma la reproducción de la célula. Este proceso se denomina **citodiéresis**.

En las células vegetales el proceso es algo más complicado y de ordinario no se produce una tal estrangulación, sino la aparición en el plano ecuatorial de la célula madre de una nueva **pared celular**, que separará a las dos células hijas.

La elaboración de esta nueva membrana corre a cargo del aparato de Golgi, acumulándose una gran cantidad de dictiosomas a ambos lados del ecuador de la célula madre. Estos dictiosomas liberan gran cantidad de vesículas cargadas del material que ha de servir para la elaboración de la nueva membrana, emigrando a continuación estas vesículas hacia el centro, en donde se unen unas con otras formando la nueva estructura, que servirá para separar las células hijas.

La citodiéresis suele comenzar durante las últimas fases de la mitosis, avanzando al par que se va consumando la división del núcleo, y se puede realizar de muy diversas maneras, que dependen del tipo de la célula y aun de su estado fisiológico.

Sin embargo, se puede decir que, en general, la citodiéresis adopta una forma distinta en las células animales y en las células vegetales.

En las células animales la división celular suele hacerse a consecuencia de la aparición de una **estrangulación** del citoplasma en el ecuador de la célula, perpendicular al eje del huso acromático, de manera que al final ambas células hijas están unidas por un estrecho pedículo que al fin se rompe, haciéndose independientes.



# EL METABOLISMO CELULAR: FUENTES DE ENERGIA

*Como anteriormente ha quedado escrito, en las células suceden constantemente unas reacciones químicas destinadas al mantenimiento de sus actividades vitales. Estas reacciones químicas, la inmensa mayoría de las cuales están catalizadas por enzimas, constituyen un armónico conjunto denominado metabolismo. Todas las reacciones del metabolismo celular están estrechamente ensambladas, de tal manera que cualquier perturbación en una de las numerosísimas reacciones metabólicas repercute a la larga en un trastorno general de la célula.*

*No obstante, con el fin de simplificar los conceptos sobre el complicadísimo mecanismo metabólico de la célula, se distinguen en él dos tipos de reacciones: reacciones que liberan energía, o reacciones catabólicas; y reacciones que almacenan energía, o reacciones anabólicas.*

*En este capítulo y en el siguiente estudiaremos los procesos metabólicos y su integración en la vida celular.*

## NECESIDADES DE ENERGIA DE LAS CELULAS

Las células y los organismos realizan constantemente la síntesis de materiales vivientes, que se plasma en los fenómenos de crecimiento. Ahora bien, esta síntesis de materiales no consiste, en suma, más que en la formación de moléculas grandes y complicadas a expensas de moléculas pequeñas y sencillas o, dicho de otro modo, la formación de **moléculas que almacenan mucha energía** a expensas de **moléculas dotadas de energía escasa**.

Además, toda célula gasta cierta energía mecánica (movimiento) y muchas de ellas disipan también energía de otros tipos (calor, luz).

Todo ello nos indica claramente la necesidad que tienen las células, los organismos y el mundo vivo, en general, de **obtener energía**, que emplearán para sus actividades biológicas.

## ORIGEN DE LA ENERGIA UTILIZADA POR LOS SERES VIVOS

Toda la energía libre que llega a la Tierra tiene su origen en las reacciones de fusión nuclear que suceden en el Sol. Estas reacciones emiten una radiación gamma que, a la larga, irradia del Sol en forma de luz.

Todos los organismos, directa o indirectamente, obtienen la energía que precisan de la luz solar, con excepción de algunas bacterias que utilizan la energía liberada en algunas reacciones químicas de oxidación de materiales inorgánicos.

En efecto, como hemos de ver, hay unos organismos (en general, los **vegetales**), que son capaces de captar directamente la energía luminosa, y otros (en general, los **animales**) que, incapaces de dicha utilización, se suministran de energía utilizando la que se ha almacenado en los compuestos sintetizados por los primeros, es decir, que obtienen también su energía de la luz solar, aunque indirectamente.

## ALMACENAMIENTO DE LA ENERGÍA

Anteriormente se ha dicho que en las células se producen unas reacciones que al realizarse **liberan energía** (reacciones **exoergónicas**) y otras que se llevan a cabo **absorbiendo energía** (reacciones **endoergónicas**).

En las células se producen **continua y simultáneamente** reacciones exoergónicas y endoergónicas, de manera que en cada célula hay un **tráfico incesante de energía**, que se canaliza entre las reacciones de uno y otro tipo.

Para que en ningún momento se produzca un exceso o un defecto de energía y se mantenga siempre un equilibrio entre la energía liberada por unas reacciones y la energía absorbida por otras, las reacciones exoergónicas y endoergónicas suelen estar **acopladas**, de manera que ciertas reacciones producen la energía necesaria para que otras se realicen.

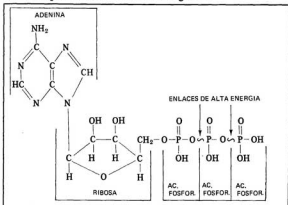
Sin embargo, este tráfico de energía exige un **equilibrio dinámico** que sería muy difícil de mantener si no fuera porque en la célula existen unas moléculas sumamente **ricas en energía** y que están constantemente dispuestas a cederla, sirviendo de este modo como un depósito o almacén de energía, cuya posesión es esencial para una perfecta regulación del flujo energético.

Esta misión es asumida en las células por distintos compuestos ricos en energía, pero el más importante de ellos es un **nucleótido**, el **adenosintrifosfato** o **ATP**, que es la molécula que ordinariamente sirve para captar la energía liberada por las reacciones exoergónicas y cederla para la realización de las reacciones endoergónicas. Por esta razón, el ATP ha sido denominado, con mucha propiedad, la «moneda» del metabolismo energético. Una molécula de ATP está formada por los siguientes componentes:

- a) Una base púrica, la **adenina**
- b) Una pentosa, la **ribosa**
- c) Tres moléculas de ácido **fosfórico**.



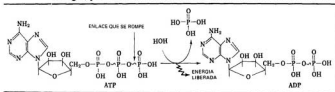
Estos compuestos se unen del modo siguiente:

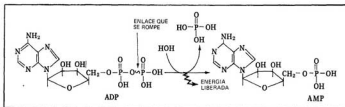


Obsérvese que los dos últimos restos de ácido fosfórico están unidos al resto de la molécula con unos enlaces químicos especiales (simbolizados con el signo ~), que se llaman **enlaces de alta energía** porque ellos determinan que en la molécula de ATP se acumule energía en gran cantidad.

La molécula de ATP puede descomponerse con incorporación de una molécula de agua liberando un resto de fosfato, convirtiéndose en **adenosindifosfato** o **ADP**; si del ADP se libera otro resto de fosfato, la molécula se convierte en un nucleótido sencillo, el **adenosinmonofosfato** o **AMP**.

El paso de ATP a ADP libera una gran cantidad de energía, que corresponde a la que se almacena en uno de los enlaces de alta energía, y lo mismo sucede cuando el ADP se convierte en AMP.

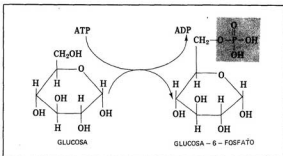




Como veremos más adelante, en el curso del metabolismo celular es muy frecuente la transformación de ATP en ADP con liberación de energía. Por el contrario, muchas reacciones en las que se libera energía están acopladas con la transformación  $\text{ADP} \rightarrow \text{ATP}$ ; la energía liberada en la reacción anterior se emplea en formar un enlace de alta energía, de lo que resulta que dicha energía es absorbida por la transformación  $\text{ADP} \rightarrow \text{ATP}$ .

Otras veces, el ATP o, mejor dicho, el sistema  $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP}$ , se utiliza para traspasar el resto de fosfato terminal del ATP a otra molécula, con lo cual dicha molécula queda fosforilizada y al mismo tiempo dotada de energía. A la inversa, las moléculas fosforilizadas pueden traspasar el resto fosfato al ADP, que quedará así transformado en ATP.

Esto sucede, por ejemplo, en el metabolismo de la glucosa, que, como se verá más adelante, comienza con una reacción de fosforilización acoplada con el sistema  $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP}$ .



En esta reacción, la glucosa se ha fosforilizado en el carbono número 6, como se ve en la figura, en que, para sencillez del dibujo, se han suprimido los átomos de carbono y se han indicado los números correspondientes a los mismos.

## CAPTACION DE LA ENERGIA LUMINOSA

Las plantas verdes y algunas bacterias son capaces de obtener directamente la **energía de la luz**. Esta energía, almacenada en moléculas de ATP, se empleará inmediatamente en la **síntesis** de sustancias orgánicas, especialmente de glúcidos, por lo cual el proceso se denomina **fotosíntesis**.

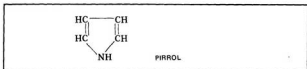
Como se ha dicho anteriormente, la luz solar es la principal fuente de energía para los seres vivos. Se entiende, pues, fácilmente la inmensa trascendencia de la captación de la energía luminosa en este proceso, que permite la realización de los procesos vitales de las plantas y, en consecuencia, también de los animales, que viven a expensas de los vegetales, directa o indirectamente.

### La clorofila

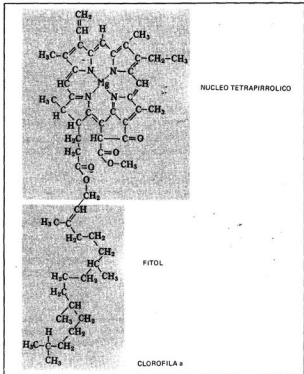
Los organismos que realizan la fotosíntesis pueden hacerlo merced a que todos ellos poseen unos **pigmentos** de color verde llamados **clorofilas**, localizados en los cloroplastos y que son los encargados de transformar la energía luminosa en energía ligada al ATP.

Existen varios tipos de clorofilas, pero en todas ellas la estructura molecular es sumamente parecida.

La molécula de clorofila tiene un núcleo formado a su vez por cuatro grupos pirrólicos, en cuyo centro hay un átomo de Mg



Este núcleo tetrapirrólico está prolongado por varias cadenas cortas, una de las cuales se combina con un alcohol de larga cadena, el fitol.



La clorofila, como se dijo anteriormente, está localizada en los granos de los cloroplastos, formando unas capas que alternan con las laminillas dependientes de la membrana plastidial interna. En las bacterias fotosintetizantes la clorofila radica en unos minúsculos gránulos, los cromatóforos, dispersos en el citoplasma bacteriano.

## La fotosíntesis

El proceso de la fotosíntesis se lleva a cabo en dos fases, que se denominan, respectivamente, **fase luminosa** y **fase oscura**. La fase luminosa es un proceso **fotoquímico**, que se realiza solamente en presencia de la clorofila y de la luz; la fase oscura, por el contrario, es un proceso puramente **químico**, que no precisa de la luz para llevarse a cabo.

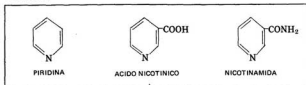
### Fase luminosa

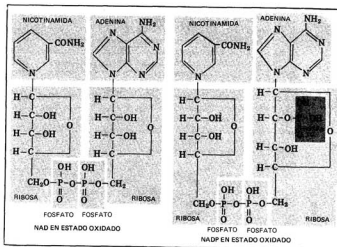
Esta fase consiste en suma en la conversión de la energía lumínica en energía química, resultando de ella dos consecuencias:

- a) La **síntesis de ATP** a expensas de ADP y de fosfato inorgánico, con el consiguiente almacenamiento de la energía en su molécula.
- b) La **reducción por el hidrógeno de un compuesto** que habrá de actuar en la reacción oscura cediendo este hidrógeno.

Este compuesto tiene, pues, por misión el transporte de hidrógeno a las moléculas orgánicas que hayan de ser reducidas: se trata, pues, de un **vector de hidrógeno**.

En los procesos metabólicos, el transporte de hidrógeno está encomendado a una serie de vectores, los más importantes de los cuales son dos **nucleótidos**, uno de ellos el que se reduce en la reacción luminosa. Se trata de dos nucleótidos denominados, respectivamente, **nicotin-adenín-dinucleótido (NAD)** y **nicotin-adenín-dinucleótido-fosfato (NADP)**, que se caracterizan por tener en su molécula un resto de **nicotinamida** (un derivado del **ácido nicotínico**, que a su vez se deriva de la **piridina**), por lo que ambos suelen ser llamados los **nucleótidos nicotínicos** o **piridínicos**.





Los nucleótidos piridínicos pueden hallarse en estado **oxidado** y en estado **reducido**. Cuando se combinan con hidrógeno (en el resto de nicotinamida) quedan reducidos y cuando lo ceden quedan nuevamente oxidados y en disposición de volver a ser utilizados como vectores de hidrógeno.

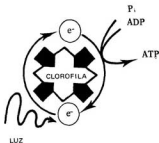
En el caso de la fotosíntesis, el nucleótido que toma parte en la fase luminosa es el **NADP**.

Veamos, pues, cómo se cumplen estos dos objetivos de la fase luminosa.

#### a) Síntesis de ATP

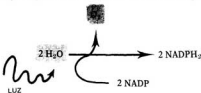
En el citoplasma hay moléculas de **ADP** y de **ácido fosfórico** ( $P_i$ , es decir, fosfato inorgánico). Para la unión de una molécula de ADP con otra de  $P_i$  es necesaria la formación de un **enlace de alta energía** entre ambas, con la correspondiente síntesis de ATP. La energía necesaria para la formación de dicho enlace es suministrada en este caso por la **luz** y captada por la **clorofila**.

Cada **fotón** de luz que llega a la clorofila **«excita»** un **electrón** de la molécula clorofílica, es decir, le comunica su energía y lo eleva a un **nivel energético superior** que el que tenía de ordinario. Pero este nivel energético superior a que ha sido elevado el electrón lo coloca en una situación inestable, por lo que el electrón excitado tiene tendencia hacia regresar a una situación energética más estable, que era la anterior. Ahora bien, al caer los electrones a un nivel energético inferior **desprenden energía**, que es captada por el ADP y el  $P_i$ , y almacenada en el **enlace de alta energía** que se establece entre estas moléculas, que forman ahora **ATP**.



## b) Reducción del NADP

En otras moléculas de clorofila se produce por la acción de la luz otra reacción fotoquímica importantísima. Se trata de la **fotólisis del agua**, es decir, la escisión de las moléculas de  $H_2O$  en hidrógeno y oxígeno. Esta fotólisis confiere al agua el papel



de **dador de hidrógeno** y, efectivamente, el hidrógeno se combina con el NADP que hay en la célula, para dar NADPH<sub>2</sub>, es decir NADP reducido.

En cuanto al **oxígeno**, se desprende en forma molecular O<sub>2</sub> y se libera al medio ambiente.

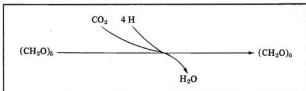
### Fase oscura

En esta fase tienen lugar los procesos puramente químicos que conducen a la **incorporación del dióxido de carbono** atmosférico a unas moléculas orgánicas previamente existentes en la célula, lo que significa la síntesis de otras moléculas mayores.

De esto resulta:

- Un **gasto de ATP** para proporcionar a las moléculas la energía necesaria para esta síntesis, muy endoenergónica.
- Una **reducción del CO<sub>2</sub>** por el NADPH<sub>2</sub>, con desprendimiento de agua.

Esta reducción es necesaria porque tanto las moléculas que previamente radican en el citoplasma celular como las que se han de sintetizar cuando el CO<sub>2</sub> se fije en ellas son glúcidos, de fórmula general (CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>. Ahora bien, el CO<sub>2</sub> es una forma mucho más oxidada que [CH<sub>2</sub>O], por lo que su incorporación como componente de un glúcido exige su enriquecimiento en H y su empobrecimiento en O, es decir, su reducción.

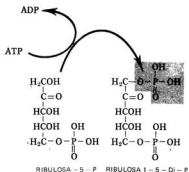


En realidad, el proceso de la fase oscura es mucho más complicado, y puede esquematizarse del modo siguiente:

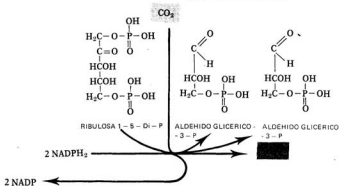
Existe previamente en la célula una pentosa fosforilizada, la **ribulosa-5-fosfato**: este compuesto **se fosforiliza** ahora de nue-



vo en el carbono 1, por el ATP formado en la fase luminosa, el cual le cede un fosfato, quedando en forma de ADP.



A continuación, la ribulosa-1-5-difosfato reacciona con el  $\text{CO}_2$  y con dos moléculas de  $\text{NADPH}_2$ , el cual aporta los cuatro hidrógenos necesarios para la **reducción** del  $\text{CO}_2$ , resultando la formación de dos moléculas de un monosacárido de tres átomos de carbono fosforilizado (**aldehído glicérico-3-fosfato**), con desprendimiento de una molécula de **agua** y la oxidación de las dos moléculas de  $\text{NADPH}_2$ , que pasa a  $\text{NADP}$ .

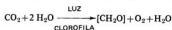


La formación de dos moléculas de aldehído glicérico-3-fosfato supone que de **un** glúcido de **cinco** átomos de carbono se han formado **dos** glúcidos de **tres** átomos de carbono, con ganancia para la célula de **un carbono glucídico**.

A continuación, a partir de estas triosas fosforilizadas y mediante diversas reacciones con el sistema ADP-ATP o de otro tipo, se producen en la célula diferentes glúcidos, como **glucosa**, **fructosa**, **sacarosa**, **almidón**, etc., que se pueden simbolizar con la fórmula general  $[CH_2O]$ . Incluso parte de este  $[CH_2O]$  se empleará en regenerar nuevas moléculas de ribulosa-5-fosfato que se necesitan para fijar nuevas moléculas de  $CO_2$ .

### Balance final de la fotosíntesis

El balance total de la fotosíntesis, después de las fases luminosa y oscura, se puede resumir en la siguiente fórmula:

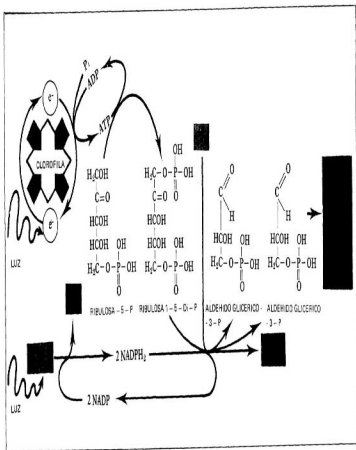


El fenómeno sin duda más importante es la **captación de la energía luminosa**. Esta energía se utiliza para sintetizar moléculas de elevado peso molecular por medio de reacciones endoenergónicas, que llevan consigo la **reducción del  $CO_2$**  atmosférico.

Otro acontecimiento importante es la **fotólisis del agua**, que proporcionará el hidrógeno necesario para reducir el  $CO_2$ .

Por último, y como consecuencia de estos dos fenómenos, hay una **síntesis de agua** y un **desprendimiento de oxígeno**.

El desprendimiento de oxígeno es un fenómeno del mayor interés desde el punto de vista ecológico. Siendo el  $O_2$  indispensable para la respiración celular, como se verá más adelante, y siendo la fotosíntesis la única causa del enriquecimiento en oxígeno de la atmósfera, es fácil comprender que si las plantas verdes desaparecieran de la faz de la tierra, el  $O_2$  atmosférico, consumido en la respiración de los seres vivos, desaparecería en breve plazo, extinguiéndose con él la vida.



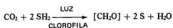
Esquema general de la fotosíntesis.

## La fotosíntesis bacteriana

A pesar de su importancia ecológica, el desprendimiento de oxígeno es un **suceso marginal** en el proceso fotosintético, como lo prueba el hecho de las bacterias fotosintetizantes, que no desprenden oxígeno en la fotosíntesis.

En efecto, en estas bacterias, la reacción luminosa no produce la fotólisis del agua, con el correspondiente desprendimiento de  $O_2$  y utilización del  $H_2$  para reducir el NADP, sino la fotólisis del **sulfuro de hidrógeno**,  $SH_2$ , que funciona aquí como **dador de hidrógeno** para dicha reducción del NADP.

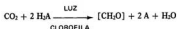
La reacción sumaria de la fotosíntesis bacteriana es la siguiente:



## Fórmula general de la fotosíntesis

Comparando las dos fórmulas sumarias de la fotosíntesis en las plantas verdes y en las bacterias fotosintetizantes, se ve que lo único que varía es la naturaleza del dador de  $H_2$  y la del producto residual que resulta de la escisión por la luz de dicho dador de  $H_2$ .

Se puede, por consiguiente, dar una **fórmula sumaria general** para todos los casos de fotosíntesis, llamando en cualquier caso  $H_2A$  al dador de  $H_2$ .

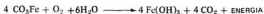


## OBTENCIÓN DE ENERGÍA DE LOS PRODUCTOS INORGÁNICOS

Algunos microorganismos obtienen la energía necesaria para sus actividades metabólicas mediante la **oxidación** de ciertos

compuestos inorgánicos, siendo, por consiguiente, los únicos que no se benefician, directa ni indirectamente, de la luz solar. Estos microorganismos oxidan una serie de sustratos que, en general, son específicos, y en cada caso este sustrato actúa como un **dador de energía**, pues los productos de su oxidación son moléculas menos ricas en energía que los sustratos originales, habiéndose empleado el resto de la energía en la síntesis de ATP; que se utilizará, a su vez, para la fijación del CO<sub>2</sub> atmosférico.

Mencionaremos únicamente las bacterias ferrugíneas y las que intervienen en el proceso de la nitrificación en los suelos. Ciertas **bacterias ferrugíneas**, como por ejemplo *Thiobacillus ferro-oxidans*, vive en las aguas que tienen en disolución cierta cantidad de **carbonato ferroso**, al que oxidan, según la reacción siguiente:



El hidróxido férrico resultante se deposita alrededor de la bacteria, acumulándose a modo de una vaina pardusca, y la energía desprendida en la reacción, en forma de ATP, servirá para la reducción del CO<sub>2</sub>.

La única forma que tienen las plantas de utilizar el nitrógeno del suelo (aparte de los casos de fijación del nitrógeno atmosférico) es cuando éste está en forma de nitratos. De esto se deduce la enorme importancia que para las plantas cultivadas y para el mundo vegetal, en general tienen las bacterias que intervienen en el proceso de **nitrificación**, cuyo resultado final es la conversión del nitrógeno amoniacal y nitroso en nitrógeno nítrico, es decir, asimilable.

En el proceso de la nitrificación se pueden considerar dos etapas, que se llevan a cabo por microorganismos distintos, pero que todos ellos oxidan sus sustratos y obtienen energía metabólica en forma de ATP para sus actividades biológicas. El primer proceso es la **nitrosación**, que convierte el **amoníaco** en **nitritos**, por obra de bacterias del género *Nitrosomonas*



Bacterias de la nitrificación.

A. *Nitrosomonas europaea*.

B. *Nitrobacter agilis*.



El segundo proceso es la **nitratación**, que convierte a los **nitritos en nitratos** y que llevan a cabo bacterias del género *Nitrobacter*





# EL METABOLISMO CELULAR. ENERGIA DE LOS COMPUESTOS ORGANICOS

*Tanto los organismos capaces de captar la energía de la luz, como los que pueden obtenerla de la oxidación de sustratos inorgánicos, no dependen para su nutrición de ningún otro ser vivo, ni aun de materia orgánica alguna. Por esta razón se les llama organismos autótrofos, es decir, «que se alimentan por sí mismos», y según su modo de obtención de la energía se denominan fotoautótrofos, si captan la energía luminosa, y quimioautótrofos, si la obtienen de las referidas reacciones de oxidación.*

*Quedan, pues, los organismos que obtienen su energía de los compuestos orgánicos. Estos productos orgánicos forman parte de otros organismos vivos, o por lo menos, proceden de organismos vivos. Los organismos que obtienen su energía de compuestos orgánicos dependen, pues, para su nutrición, de la existencia de otros organismos. Por esta razón se les llama organismos heterótrofos, que significa «que se nutren de los demás».*

◀ La levadura del mosto utiliza la energía contenida en los hidratos de carbono que fermenta.



## ENERGIA DE LOS COMPUESTOS ORGANICOS

La energía contenida en los compuestos orgánicos es captada por las células de los organismos heterótrofos por medio de unas **reacciones catabólicas** que tienen por objeto convertir a las grandes moléculas orgánicas en otras más pequeñas, cediéndose en esta transformación la energía que la célula almacena en forma de ATP.

Estos compuestos son fundamentalmente los **glúcidos** que, como hemos visto, son esencialmente los productos elaborados en la fotosíntesis.

El **almidón** y los demás **polisacáridos**, así como los **disacáridos**, se hidrolizan primeramente para dar monosacáridos, fundamentalmente **glucosa**, de manera que el estudio de la degradación de la glucosa es suficiente para comprender los mecanismos bioquímicos por medio de los cuales obtienen las células su energía de los compuestos orgánicos.

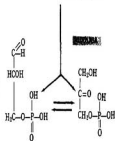
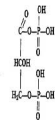
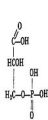
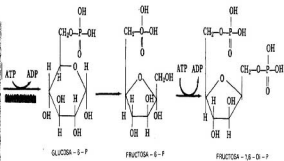
### LA GLUCOLISIS

Existen varios mecanismos para la degradación metabólica de la glucosa, pero el más universalmente utilizado, y el único que estudiaremos, es el denominado **glucolisis**.

La serie de reacciones que tienen lugar durante la glucolisis, determinan en su conjunto la conversión de la **glucosa** en **ácido pirúvico**, molécula de tres átomos de carbono que tiene la significación de una encrucijada metabólica, a partir de la cual se diversificarán los mecanismos degradativos.

La primera reacción que sucede en la glucolisis es la fosforilización en el carbono 6 de la glucosa, que se convertirá así en **glucosa-6-fosfato**. Esta fosforilización se lleva a cabo en una reacción catalizada por la enzima **glucocinasa** y acoplada con otra reacción de paso de ATP a ADP, cediendo el ATP un resto fosfato a la glucosa, y quedando la molécula de glucosa fosforilizada y dotada de una mayor energía.

La glucosa-6-fosfato sufre ahora una transformación molecular que la transforma en **fructosa-6-fosfato** y ésta, a continuación, y por medio de una reacción también acoplada al sistema

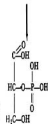


ACIDO 3 - FOSFOGLICERICO

ACIDO 1,3 - DIFOSFOGLICERICO

ALDEHIDO GLICERICO - 3 - P

DHIDRODIACETONA - P



Reacciones de la glucólisis.

ATP→ADP, se fosforiliza de nuevo en el carbono 1, quedando convertida en **fructosa-1,6-difosfato**.

Sobreviene ahora la más importante reacción de la glucólisis, en la que la molécula glucídica fosforilizada de **seis** átomos de carbono se va a convertir en **dos** moléculas de **tres** átomos de carbono cada una.

Esta reacción, catalizada por la enzima **aldolasa**, escinde la fructosa-1,6-difosfato en dos triosas fosforilizadas, la **dihidroxiacetona-fosfato** y el **aldehído glicérico-3-fosfato**. Como veremos más adelante, la dihidroxiacetona-fosfato puede desviarse por otra vía metabólica, pero frecuentemente se convierte en aldehído glicérico-3-fosfato, de manera que con mucha frecuencia y a efectos prácticos, se puede suponer que toda la glucosa del sistema ha llegado a convertirse en esta triosa fosforilizada.

Sucede ahora una reacción en la que el aldehído glicérico-3-fosfato se fosforiliza y se oxida a la vez. La fosforilización no sucede aquí por una reacción acoplada con el ATP, sino por la incorporación de **fosfato inorgánico**. En cuanto a la oxidación, se produce porque el aldehído glicérico-3-fosfato cede dos átomos de hidrógeno a una molécula de **NAD**, que queda convertida en **NADH<sub>2</sub>**, y, por consiguiente, en situación de ceder estos dos hidrógenos a cualquier compuesto que en el transcurso del metabolismo así lo exija. En esta reacción se forma una triosa difosforilizada, el **ácido 1,3-difosfoglicérico**.

El ácido 1,3-difosfoglicérico pierde ahora un resto fosfato en una reacción en la que, al revés que en las anteriores, una molécula de ADP gana el fosfato y se convierte en ATP, mientras el ácido 1,3-difosfoglicérico se convierte en **ácido 3-fosfoglicérico**.

En este último compuesto sucede ahora una transformación por la que el resto fosfato pasa del carbono 3 al carbono 2, produciéndose en consecuencia ácido **2-fosfoglicérico**.

El ácido 2-fosfoglicérico pierde ahora agua en una reacción de enolización, que supone la formación de un doble enlace entre los carbonos 2 y 3, con la aparición de **ácido fosfoenolpirúvico**.

Sufre ahora este compuesto una reacción acoplada también con el sistema ADP→ATP, con síntesis de ATP y desfosforili-

zación del ácido fosfoenolpirúvico que queda convertido en **ácido enolpirúvico**.

Finalmente, el ácido enolpirúvico se transforma espontáneamente en **ácido pirúvico**.

Al final de la glucolisis nos encontramos con el siguiente resultado, a partir de una molécula de glucosa y suponiendo que toda la hidroxiacetona-fosfato se ha convertido en aldehído glicérico-3-fosfato:

- a) Dos moléculas de **ácido pirúvico**.
- b) Dos moléculas de **NADH**, formadas a expensas de otras dos de **NAD** que entraron en el sistema.
- c) Dos moléculas de **ATP**, formadas merced a dos moléculas de **ADP** y dos de fosfato inorgánico.

Merece la pena fijar la atención sobre este último concepto.

Durante la primera parte de la glucolisis, es decir, antes de la escisión de la hexosa en dos triosas, se produce un **gasto** de **dos** moléculas de **ATP** por molécula de glucosa, que se convierten en **ADP** con pérdida de un fosfato de cada una; estos dos fosfatos que se emplean en la fosforilización de la hexosa, primero en el carbono 6 y luego en el carbono 1. Estas reacciones suponen, pues, una **ganancia** en energía del sistema, cuando la glucolisis es un mecanismo de **desprendimiento** de energía de la glucosa, lo cual, en principio, resulta paradójico.

Sin embargo, en la segunda parte de la glucolisis **se devuelven cuatro** moléculas de fosfato al sistema **ADP→ATP**, con su correspondiente dotación energética; efectivamente, se forman **dos** moléculas de **ATP** cuando las dos moléculas de ácido 1,3-difosfoglicérico se convierten en otras dos de ácido 3-fosfoglicérico, y otras **dos**, cuando las dos moléculas de ácido fosfoenolpirúvico pasan a ser otras tantas de ácido enolpirúvico. El balance, pues, es el siguiente:

**Dos moléculas de ATP gastadas** en la primera parte de la glucolisis.

**Cuatro moléculas de ATP sintetizadas** durante la segunda parte. Quedando **sintetizadas** al final **dos moléculas de ATP**.

## VÍAS DEL ÁCIDO PIRUVICO

Hemos visto que en la glucólisis han aparecido dos moléculas de  $\text{NADH}_2$  por cada molécula de glucosa. Pero, por una parte, el  $\text{NADH}_2$  no puede irse acumulando indefinidamente, y por otra, la cantidad de  $\text{NAD}$  que hay en la célula es limitada y tiende a agotarse. Por esta razón es necesario que se vaya **regenerando** el  $\text{NAD}$ , a base de que el  $\text{NADH}_2$  ceda su hidrógeno a un aceptor.

Por otra parte, la molécula de ácido pirúvico tiene todavía alguna cantidad de energía, y la economía de la célula tiende a beneficiarse de ella, convirtiendo al ácido pirúvico en compuestos de molécula más pequeña y desprovistos de energía, o con una energía menor. Un perfecto aprovechamiento energético de la glucosa y del ácido pirúvico sería su conversión total en agua y en  $\text{CO}_2$ .

Para conseguir más o menos los objetivos que acaban de exponerse, el ácido pirúvico puede seguir varias **vías metabólicas** distintas, de acuerdo con las circunstancias de cada célula. Estas vías pueden ser **fermentativas** o **respiratorias**.

En las vías fermentativas se desprende  $\text{CO}_2$ , pero, además, el **ceptor final de  $\text{H}_2$**  es un **compuesto orgánico**, que se reduce, formando otro **compuesto orgánico** que es el **producto final** de la fermentación. El producto final está dotado aún de energía, por lo que las vías fermentativas proporcionan a la célula solamente **parte** de la energía contenida en la molécula de glucosa.

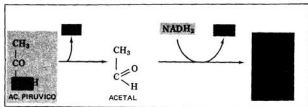
En las vías respiratorias se desprende también  $\text{CO}_2$ , pero el **ceptor final de  $\text{H}_2$**  es el **oxígeno** del aire, formándose **agua** como **producto final**. Como el agua está exenta de energía, las vías respiratorias garantizan el perfecto aprovechamiento energético de la glucosa.

### Vías fermentativas

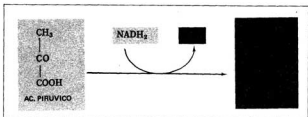
Hay dos vías fermentativas principales, la **fermentación alcohólica** y la **fermentación láctica**.

En la **fermentación alcohólica**, llevada a cabo preferentemente por las levaduras, el ácido pirúvico se **decarboxila** previamente,

dando **acetaldehído**. Este acetaldehído obra ahora como **aceptor de  $H_2$** , que le cede el  $NADH_2$ , convirtiéndose en **etanol** al par que se regenera el **NAD**.



En la **fermentación láctica**, que sucede en el músculo y en las bacterias que acidifican y coagulan la leche (bacterias lácticas), el **aceptor de  $H_2$**  es el propio **pirúvico**, que se convierte en **ácido láctico**, mientras el  $NADH_2$  pasa a **NAD**.



### Vía respiratoria

La principal vía respiratoria está formada en su primera parte por el llamado «ciclo de Krebs», que es un complicado mecanismo oxidativo que, a partir del pirúvico, produce  **$CO_2$** , **ATP** y **nucleótidos vectores de hidrógeno** en estado reducido.

El  $CO_2$  se liberará a la atmósfera y el ATP se empleará en las reacciones metabólicas que exigen aporte de energía.

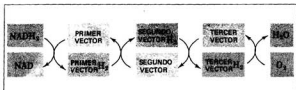
La misión de los nucleótidos vectores de hidrógeno es transportar a éste a la llamada «**cadena respiratoria**», conjunto de vectores de hidrógeno por los que el  $H_2$  irá pasando hasta que



Durante el ciclo de Krebs, además de las dos decarboxilaciones que convierten al compuesto de **seis** átomos de carbono en otro de **cuatro**, sucede una síntesis de **ATP** (energía) y la salida de **ocho átomos de hidrógeno**. **Cuatro** de ellos se combinan con dos moléculas de **NAD** para dar **NADH<sub>2</sub>**; otros **dos**, utilizan como vector el **NADP**, que se convierte en **NADPH<sub>2</sub>**; por último, los **dos** restantes se fijan a otro vector de hidrógeno, el **flavín-adenin-dinucleótido** o **FAD**, que es un nucleótido parecido a los anteriores que en su molécula tiene **flavina**, compuesto nitrogenado con tres anillos aromáticos.

A continuación, como se ha dicho, el hidrógeno pasa a la **cadena respiratoria**, constituida por una serie de vectores, entre los que los más importantes son unos pigmentos llamados **citocromos**. Estos vectores de hidrógeno, reduciéndose y oxidándose alternativamente, van transfiriéndose sucesivamente los átomos de hidrógeno, hasta que el último de los vectores utiliza como aceptor de **H<sub>2</sub>** el **oxígeno** atmosférico, que se combina con aquél dando **agua**.

La cadena respiratoria puede representarse de esta forma



Figurando en el presente esquema en rojo los vectores de hidrógeno en forma reducida y en azul en forma oxidada.

## RESPIRACION Y FERMENTACION

Veamos a continuación lo que representan la fermentación y la respiración en cuanto a la economía de la energía de las células.

Digamos, ante todo, que la **respiración** es un **sistema ventajoso** para las células, en cuanto que **toda** la energía de la glucosa se aprovecha, ya que los productos finales **CO<sub>2</sub>** y **H<sub>2</sub>O** están exentos de energía. En cambio, la **fermentación**, al dejar como pro-



ductos finales el  $\text{CO}_2$  y un compuesto orgánico (etanol, ácido láctico) todavía dotado de energía, significa un **aprovechamiento incompleto** de las posibilidades energéticas de la glucosa.

La fermentación es un sistema utilizado frecuentemente por algunos microorganismos, como levaduras y determinadas bacterias. Sin embargo, no es privativa de los microorganismos, sino que también se produce en algunas células de animales y plantas en condiciones especiales.

Ni siquiera la fermentación es propia de esta o aquella célula, sino sucede en función de condiciones ambientales. Bien es verdad que algunas células realizan la fermentación porque carecen de la dotación enzimática necesaria para la respiración, pero es frecuente que aquélla suceda cuando las células no tienen a su disposición el aceptor final de hidrógeno más apropiado, es decir, el oxígeno.

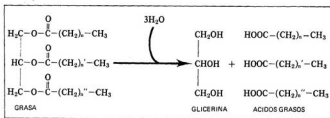
Esta última circunstancia es la que se da en las levaduras. Efectivamente, cuando las levaduras tienen a su disposición el oxígeno necesario, degradan su glucosa por vía **respiratoria**; cuando, por el contrario, no tienen a su disposición dicho oxígeno (y esto sucede en los lagares cuando el  $\text{CO}_2$  producido por la respiración se acumula sobre el mosto, impidiéndoles el contacto con el aire), proceden a **fermentar** la glucosa, con la correspondiente formación de etanol.

Llamemos, por último, la atención sobre el papel del oxígeno en la respiración. El proceso respiratorio, como la fermentación, es un proceso de oxidación, pero en el que esta oxidación sucede no por **ganancia de oxígeno**, sino por **pérdida de hidrógeno**. El oxígeno es, simplemente, el **aceptor final de hidrógeno** en la respiración, como lo son otros compuestos orgánicos en la fermentación.

## **CATABOLISMO DE LAS GRASAS**

Las **grasas** son compuestos muy ricos en energía, que la célula utiliza con frecuencia para sus necesidades metabólicas.

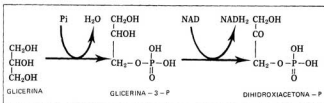
El catabolismo de las grasas comienza por la acción de unas **lipasas** que rompen la molécula por hidrólisis, dejando en libertad **glicerina** y **ácidos grasos**.



Unos y otros componentes de las grasas siguen ahora caminos metabólicos distintos.

### Degradación de la glicerina

La glicerina se **fosforiliza** al principio por una **fosfatasa**, incorporando fosfato inorgánico a su molécula y luego se **oxida** por una reacción acoplada con el NAD, que pasa a NADH<sub>2</sub>. El producto de esta deshidrogenación es la **dihidroxiacetona-fosfato**, compuesto que hemos visto en la glucólisis.



A su vez, la dihidroxiacetona-fosfato se convierte por la acción de la aldolasa en **aldehído glicérico-3-fosfato**, incorporándose, pues, a la vía metabólica de la glucólisis, en donde a la larga se convierte en ácido pirúvico.

Las reacciones por las que la glicerina pasa a dihidroxiacetona-fosfato son reversibles, de manera que una parte de la dihidroxiacetona-fosfato e incluso del aldehído glicérico-3-fosfato producidos a expensas de la glucosa en la glucólisis, pueden desviarse para convertirse en glicerina y, al combinarse ésta con los ácidos grasos, también en grasas.

Cuando toda la hidroxiacetona-3-fosfato que se produce en la glucólisis se convierte en aldehído glicérico-3-fosfato, toda la energía de la glucosa será liberada en el ciclo de Krebs, pero si parte de la dicha dihidroxiacetona-fosfato se convierte en glicerina, sucede un **almacenamiento** de parte de la energía de la glucosa, que queda en reserva en forma de glicerina, formando parte de las grasas. Se deduce de aquí el papel de material de **reserva energética** que en los organismos desempeña la grasa, que sirve a la vez de almacén y de depósito regulador de energía. Si el organismo necesita gastar energía, canaliza el catabolismo de la glucosa por la vía de la glucólisis a través del aldehído glicérico-3-fosfato hacia el pirúvico. En el caso de que el organismo no tenga necesidades apremiantes de energía, canalizará parte del catabolismo de la glucosa hacia las grasas por la vía de la dihidroxiacetona-fosfato y de la glicerina.

### **Catabolismo de los ácidos grasos**

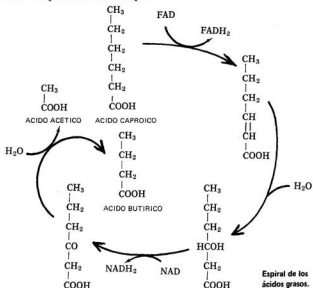
Los ácidos grasos se oxidan totalmente en un proceso denominado la «**espiral de los ácidos grasos**», que conduce a la separación de **ácido acético** de la cadena del ácido graso que se oxida, quedando así un nuevo átomo graso de dos átomos menos de carbono. Este nuevo ácido se oxida otra vez, separándose al fin otra molécula de ácido acético y un tercer ácido graso con cuatro átomos de carbono menos que el que se oxidó al principio. Este proceso se repite hasta que queda el ácido **butírico**, de cuatro átomos de carbono, el cual por la referida oxidación se rompe en dos moléculas de ácido acético.

El ácido acético, que es «activo», puede emplearse para unirse al oxaloacético en el ciclo de Krebs, con lo cual, al final, toda la energía contenida en los ácidos grasos se utiliza en el metabolismo.

La oxidación de los ácidos grasos a que me vengo refiriendo, se realiza siempre en el penúltimo carbono de la cadena, llamado **carbono  $\beta$** , por lo que la espiral de los ácidos grasos se denomina también la  **$\beta$ -oxidación**.

Como ejemplo, se puede tomar la oxidación del **ácido caproico**, de seis átomos de carbono, pero haciendo notar que, como todos los ácidos grasos tienen un número par de átomos de car-

bono, el proceso es igual, aunque más largo, para cualquier otro compuesto de este tipo.



La **síntesis** de los ácidos grasos se hace más o menos por un proceso inverso al anterior, uniéndose dos moléculas de ácido acético, que luego se unen con otra para dar un ácido graso de seis átomos de carbono, y después con otra para dar otro de ocho, y así sucesivamente.

## METABOLISMO DE LOS COMPUESTOS NITROGENADOS

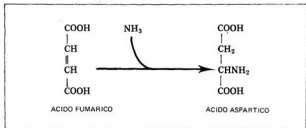
Para terminar este capítulo, daremos unas nociones sobre el metabolismo de los compuestos que poseen nitrógeno en su molécula, ciñéndonos por ahora a los **aminoácidos**, como compuestos de pequeña molécula que son los sillares de construcción de las proteínas.

En el mundo inorgánico se encuentra el nitrógeno en muchas formas distintas, pero no todas pueden ser asimiladas por los seres vivos. En general, los seres vivos toman el nitrógeno en forma de nitratos o de nitrógeno molecular.

Los nitratos son absorbidos por las raíces de las plantas, las cuales, por un complicado proceso de reducción, en el que se utiliza la energía de la luz, lo convierten en amoníaco  $\text{NH}_3$ .

Por otra parte, el nitrógeno molecular de la atmósfera puede ser también convertido en  $\text{NH}_3$ , pero esta facultad está mucho menos difundida, restringiéndose a algunas bacterias, de las cuales unas lo fijan en libertad y otras, las bacterias del género *Rhizobium*, lo fijan viviendo en simbiosis con las plantas leguminosas, en cuyas raíces habitan.

El nitrógeno amoniacal es una forma ya susceptible de integrarse en las moléculas orgánicas de la célula. Esta integración se produce mediante su combinación con algunos ácidos orgánicos que se producen en el ciclo de Krebs, los cuales se convierten a favor de esta combinación en aminoácidos; por ejemplo, el ácido fumárico (compuesto que se forma en el ciclo de Krebs) se une al amoníaco para formar ácido aspártico (aminoácido).



De esta manera se forman algunos aminoácidos, pero no todos.

Los restantes aminoácidos se formarán a expensas de los formados en primer lugar cediendo éstos a otras moléculas orgánicas el grupo  $-\text{NH}_2$ , con cuyo mecanismo, llamado transaminación, poseen las células una gran capacidad de formar toda una gama de aminoácidos a expensas de unos pocos.

TERCERA PARTE  
NIVEL INDIVIDUAL





# LOS ORGANISMOS PLURICELULARES

*Los diferentes tipos de organismos unicelulares nos muestran que la célula aislada es un ser capaz de alcanzar una notable complicación estructural, merced a lo cual goza de la capacidad de adaptarse a una amplia gama de ambientes y de situaciones de vida.*

*Pero esta capacidad de adaptación es limitada y, por consiguiente, el nivel de organización celular no está en condiciones de vivir en muchos de los ambientes y situaciones posibles en nuestro planeta: las posibilidades biológicas de este nivel celular son realmente pequeñas.*

*Ahora bien, para superar este nivel de organización celular, la materia viva se organiza formando unas unidades biológicas constituidas por varias células, reunidas así en un nuevo nivel de organización de orden superior, el nivel pluricelular.*



## LAS COLONIAS DE PROTOZOOS

El nivel pluricelular se alcanza primeramente, aunque de modo rudimentario, en diversos grupos de protozoos, principalmente **flagelados**. En algunas especies de estos seres, en efecto, los individuos viven reunidos en agrupaciones funcionales o **colonias**, aun conservando todos ellos la misma forma y el mismo aspecto.

Los individuos que forman la colonia descienden de una misma célula madre que dio origen por escisiones sucesivas a todos ellos. Estas colonias se denominan **cenobios** y poseen dos características fundamentales: a) el número de sus células y su distribución son iguales en todas las colonias de la misma especie; b) la colonia funciona toda ella como un solo individuo, debido al funcionamiento unánime y solidario de las células que la constituyen.

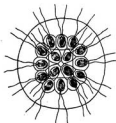
Así, por ejemplo, la colonia del flagelado *Gonium pectorale* consta de 16 células, todas ellas iguales y situadas en el mismo plano, formando una especie de placa que nada siempre en el mismo sentido, debido a que los flágelos de cada una de sus células baten todos ellos también en el mismo sentido.

## LA DIFERENCIACION CELULAR

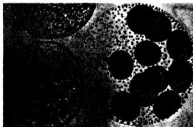
En *Gonium* todas las células que componen el cenobio viven de igual manera, pues todas ellas realizan la fotosíntesis (ya que tienen clorofila), todas ellas colaboran al movimiento gracias a sus flagelos y todas ellas se reproducen en un momento determinado, dando lugar cada una a una colonia.

Sin embargo, en otras colonias de flagelados, como en *Volvox globator*, aunque todas las células viven de igual manera, no todas ellas se reproducen. Cuando llega el momento, solamente unas pocas de las células que componen la colonia se reproducen, muriendo las demás.

En *Volvox* sucede un acontecimiento de una gran importancia biológica que es característico de los seres unicelulares. Se trata de la **división de funciones** entre las células que constituyen el organismo pluricelular, es decir, la **diferenciación** entre células reproductoras y células vegetativas.



Colonia de *Gonium pectorale*.



Colonia de *Volvox globator* en cuyo interior se ven algunas colonias hijas.

El proceso de la diferenciación celular, que en *Volvox* se refiere exclusivamente a la función reproductora, alcanza su más completa expresión en los organismos superiores, vegetales y animales, en los que las células que los componen se diferencian marcadamente para desempeñar funciones muy distintas unas de otras.

## LOS TEJIDOS

La diferenciación de las células conduce a la aparición en plantas y animales de los **tejidos**.

Un tejido es una reunión de células que, en general, tienen parecidas características y que colaboran todas a una misión en el organismo.

En unos tejidos, las células son todas ellas idénticas; en otros existen varios **tipos celulares**, cada uno de los cuales tiene a su cargo la realización de una de las funciones del tejido. Además, en muchos tejidos las células dan lugar a unas **sustancias intercelulares** que pueden tener una importancia fundamental para el funcionamiento del organismo.

## LOS TEJIDOS VEGETALES

Aunque en las plantas la diferenciación no llega tan lejos como en los animales, y las células vegetales se parecen todas bastante entre sí, no por eso dejan de reconocerse varios tipos de tejidos vegetales, sobre todo en las plantas superiores.

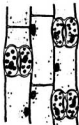
Diversos tejidos vegetales:



PLECTENQUIMA



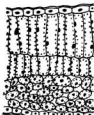
MERISTEMO



EPIDERMIS CON ESTOMAS



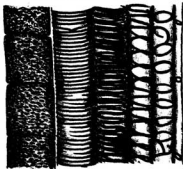
TEJIDO SUBEROSO



PARENQUIMA CLOROFÍLICO



FIBRAS ESCLEREN-  
QUIMATOSAS



VASOS LEÑOSOS



TUBOS CRIBOSOS

## Los falsos tejidos.

En los hongos se encuentran unas agrupaciones celulares cuya consistencia y tenacidad les permite formar auténticos órganos; sin embargo, no se trata aquí de verdaderos tejidos, sino de una agrupación de filamentos celulares que se aprietan unos contra otros, dotando al conjunto de la tenacidad requerida.

Estos falsos tejidos son los **plecténquimas**, que forman el pedúnculo y el sombrerillo de las setas, y que no son otra cosa que filamentos del micelio profusamente ramificados y enmarañados.

## Los meristemos

Son tejidos compuestos de **células embrionarias**, cuya misión es multiplicarse para dar origen a los demás tejidos vegetales.

Por consiguiente, las células meristemáticas están escasamente diferenciadas y son pequeñas, con una pared celular muy delgada y con el retículo endoplasmático todavía no expandido en vacuolas.

En las plantas los meristemos están en todos los órganos, ya que todos los órganos vegetales pueden crecer a expensas de los meristemos si las condiciones ambientales lo permiten. No obstante, los meristemos principales están en la extremidad de las raíces y en las yemas axilares y terminales de los tallos.

## Los tejidos protectores.

Las células de los vegetales que están en relación con el exterior forman unos **tejidos protectores** de la planta, diferenciándose en este sentido. Hay que distinguir, sin embargo, el **tejido epidérmico** y el **tejido suberoso**.

a) El **tejido epidérmico** consta de una sola capa de células que modifican su pared celular haciéndola más o menos impermeable. Unas veces mediante **cutinización** de la pared celular (convertida en una sustancia llamada **cutina**), otras por la secreción de una **cera**.

Otros mecanismos protectores del tejido epidérmico son los **pelos**, que son unas eminencias de formas variadas, constituidas por una célula o por varias y cuyo conjunto evita roces a la superficie de la planta.

El tejido epidérmico es característico de la superficie de hojas y de tallos jóvenes.

b) El **tejido suberoso** consta de varias capas superpuestas de células, diferenciadas también para hacer impermeable la pared celular. Esta se ha convertido en **suberina** y se ha hecho gruesa de manera que la parte viva de la célula, es decir el protoplasto, ha desaparecido. Se puede decir, pues, que el tejido suberoso, llamado también **corcho**, es una masa de paredes celulares suberificadas de células muertas.

El tejido suberoso es característico de la corteza de los tallos y de las raíces viejas.

### **Los parénquimas.**

Estos tejidos se componen de células más o menos redondeadas (aunque hay excepciones), de pared celular delgada, no transformada, y abundante en plastos.

Si estos plastos son verdes, es el caso del **parénquima asimilador** o **parénquima clorofílico**, que es el tejido fundamental en los vegetales por estar a su cargo, con mínimas excepciones, la misión de la fotosíntesis.

### **Los tejidos conductores.**

Son los encargados de conducir los líquidos por el interior de la planta. Se pueden distinguir dos tipos de **tejidos conductores**, el **tejido vascular** y el **tejido criboso**.

a) **Tejido vascular.** Está constituido por unos tubos relativamente anchos, los **vasos leñosos**, que son paredes celulares alargadas y vacías de células muertas, sin protoplasto. Estos vasos leñosos están impregnados fuertemente de una sustancia dura y rígida llamada **lignina**, que se dispone alrededor del vaso formando unos espirales o anillos superpuestos.

El conjunto de estos vasos leñosos sirve al transporte de la savia bruta y forma la **madera**.

b) **Tejido criboso.** Los elementos que forman los **tubos cribosos** o **tubos liberianos**, característicos de este tejido, son unas células alargadas, separadas unas de otras por unos tabiques perforados, las **cribas**. La savia elaborada, que circula por estos tubos, pasa de unas células a otras por los orificios de dichas cribas.

El conjunto de los tubos cribosos es el **liber**, o parte blanda de los troncos de los árboles.

### **Los tejidos de sostén.**

Las células que forman estos tejidos se diferencian para servir de **elementos esqueléticos** de las plantas. Por consiguiente, las paredes celulares están más o menos engrosadas y han adquirido una cierta rigidez. Así en los **esclerenquimas**, hay unas células muy alargadas (**fibras esclerenquimatosas**) con la pared celular lignificada, y en el **colénquima** las células tienen su pared celular celulósica, pero notablemente engrosada.

## **LOS TEJIDOS ANIMALES**

El proceso de la diferenciación celular alcanza en los animales su expresión más elevada, ya que en los tejidos animales se pueden hallar una serie extraordinariamente variada de células, cada una de ellas con diferente morfología y función distinta.

Los tejidos animales se pueden dividir en cuatro grandes grupos, a saber: **tejidos epiteliales**, **tejidos conjuntivos**, **tejidos musculares** y **tejidos nerviosos**.

Cada uno de estos grandes grupos de tejidos comprende numerosas variedades, que dependen del animal y del órgano del que formen parte.

## **TEJIDOS EPITELIALES**

Los tejidos epiteliales son típicamente tejidos de **protección**. Sus células, de sencilla morfología, se han diferenciado en dos sentidos para cumplir su misión protectora. Por una parte, han adoptado forma plana y se alinean una junto a otra en una o

varias capas, a fin de procurar un manto protector de los tejidos subyacentes. Por otra, se pueden especializar en la producción de sustancias con distintas misiones fisiológicas.

Según predomine en sus células una u otra tendencia, los epitelios serán **epitelios protectores** o **epitelios secretores**.



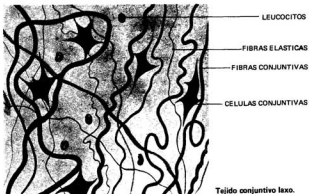
Células de epitelio del interior de la boca.

Entre los primeros está la epidermis de los mamíferos, la de muchos invertebrados, etc. Los epitelios secretores son fundamentalmente los que componen los órganos llamados **glándulas**, como las salivales, el páncreas, etc. Sin embargo, hay epitelios protectores que participan mucho en la secreción, como, por ejemplo, las mucosas de nuestro cuerpo o el epitelio cutáneo del caracol.

## TEJIDOS CONJUNTIVOS

Los tejidos conjuntivos están especializados en varias misiones simultáneas, de las que unas u otras predominan según los casos. Las principales misiones son **esqueléticas**, pues estos tejidos están encargados de unir, sostener y rellenar los órganos o los espacios entre éstos, dando al organismo la debida forma y consistencia. Pero, al mismo tiempo, en los tejidos conjuntivos tienen lugar importantes acontecimientos, como el **almacenamiento** de sustancias nutritivas o de agua, la **circulación** de muchos líquidos orgánicos, la elaboración de distintos compuestos de importancia fisiológica, etc.

Desde el punto de vista morfológico, los tejidos conjuntivos se caracterizan porque sus células están más o menos separadas entre sí por unas **sustancias intercelulares**, elaboradas de ordi-



nario por las mismas células, y de naturaleza y consistencia variadas según los casos.

Se admite una gran variedad de tejidos conjuntivos, que se pueden reducir a las siguientes:

#### **Tejido conjuntivo laxo.**

Con una sustancia intercelular abundante, rica en **fibras de colágena** (fibras conjuntivas) y en **fibras elásticas** y muy abundante en agua y en sustancias orgánicas líquidas. Se encuentra en todos los órganos rellenando intersticios y uniendo a los demás tejidos.

Sus células pertenecen a varias categorías, entre las que las más importantes son los **fibroцитos** o células conjuntivas, y los **plasmocitos**.

#### **Tejido conjuntivo compacto.**

Tiene una composición parecida al anterior, pero con una extraordinaria abundancia de **fibras conjuntivas** y **elásticas**, que le confieren una gran tenacidad. Los tendones son un ejemplo típico de esta variedad de tejido conjuntivo.



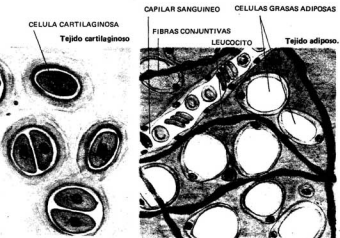
## Tejido adiposo.

Los elementos de este tejido son los mismos aproximadamente que en el tejido conjuntivo laxo, pero en el adiposo existen unas células, los **adipoblastos**, cuya misión es almacenar grasa en gran cantidad. Este es, pues, un tejido fundamentalmente **almacenador** de reservas alimenticias, pero también tiene la utilidad de rellenar los espacios entre los diversos órganos, para evitarles traumatismos.

## Tejido cartilaginoso.

La sustancia intercelular de este tejido es sólida y bastante consistente, aunque elástica. Los cartílagos tienen una misión preferentemente **esquelética** gracias a esta sustancia intercelular, y se encuentran en muchos animales formando todo el esqueleto, como en los tiburones, en las rayas y en los cefalópodos.

Las células de este tejido cartilaginoso están apesadas en el seno de la sustancia intercelular y, por consiguiente, viven in-



móviles en una especie de cavidades excavadas alrededor de cada célula o de cada grupo de células.

### Tejido óseo.

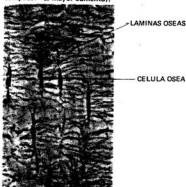
La característica más acusada del tejido óseo es que su sustancia intercelular, organizada en laminillas diversamente orientadas según las variedades, es sumamente rica en **sales minerales**, especialmente en **carbonato y fosfato cálcicos**. En consecuencia, es éste un tejido especialmente tenaz y dotado de una gran rigidez, no exenta de cierta elasticidad, cualidades todas que le hacen especialmente apto para la sustentación de los órganos, es decir, para funciones esqueléticas.

Como en el caso del cartilago, sus células, los **osteoblastos**, viven sedentarios en unas cavidades excavadas en la dura sustancia intercelular, alimentándose mediante unos finos conductos que unen estas cavidades unas con otras.

Corte transversal de tejido óseo compacto (a poco aumento).



Corte longitudinal de tejido óseo compacto (a mayor aumento).





Tejido muscular liso.

LINEA Z  
SARCÓMERO  
LINEA Z



Tejido muscular estriado. La unidad contráctil es el sarcómero, limitado por dos tabiques llamados líneas Z.

Tejido muscular estriado.

## TEJIDOS MUSCULARES

Estos tejidos tienen a su cargo el **movimiento** de los animales. Sus células se han diferenciado a este efecto en la elaboración de unas **proteínas muy contráctiles**, que se disponen en fibras paralelas.

Se distinguen, en general, dos grandes tipos de tejidos musculares, el **tejido muscular liso** y el **tejido muscular estriado**.

En el **tejido muscular liso** las células están relativamente poco diferenciadas, presentando una forma muy alargada y unas fibrillas contráctiles en su interior. La unidad funcional es, en este tejido, la **célula muscular** o **fibrocélula**.

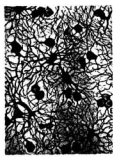
Por el contrario, en el tejido muscular estriado, las células han experimentado unas profundas transformaciones para el perfeccionamiento de la función contráctil, y han perdido su individualidad y sus características primitivas.

La unidad funcional en este tejido es la «**fibra**», que es una masa citoplasmática grande, con varios núcleos, cuya porción más importante está diferenciada en unas **miofibrillas** contráctiles, compuestas de una serie de filamentos geoméricamente ordenados; estos filamentos son de dos diámetros, los más gruesos de una proteína llamada **miosina**, y los más delgados de otra sustancia, también proteica, la **actina**. Como se verá más adelante, durante la contracción se deslizan los filamentos de miosina sobre los de actina, acortándose cada una de las unidades contráctiles o sarcómeros y, por consiguiente, toda la fibra.

La especialización anatómica y fisiológica para la contracción no sólo se manifiesta en estas fibras musculares estriadas por el hecho de la posesión de las miofibrillas, sino también en el enorme desarrollo del retículo endoplasmático, que probablemente sirve aquí al transporte del ATP necesario para aportar energía al proceso bioquímico de la contracción.



Conjunto de células de neuroglia dibujado por del Rio-Hortega. ▶



◀Célula nerviosa (de la corteza cerebral) dibujada por Ramon y Cajal. P.—Dentritas E.—Axon.

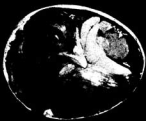
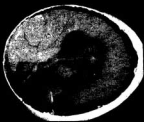
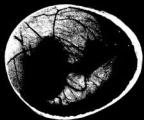
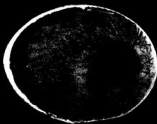
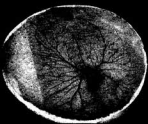
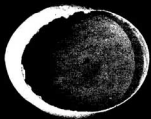
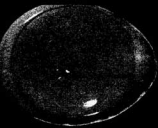
## TEJIDOS NERVIOSOS

La diferenciación celular alcanza su máxima expresión en los **tejidos nerviosos**, que se pueden definir brevemente como los tejidos destinados a adquirir información del exterior, a almacenarla, a elaborarla y a, finalmente, a enviar información al exterior del animal, por medio de otros tejidos.

Efectivamente, las células principales de los tejidos nerviosos son las **neuronas**, células especializadas en la transmisión del impulso nervioso.

Las neuronas están sumamente diferenciadas desde el punto de vista morfológico, siendo su principal característica la posesión de unas larguísimas prolongaciones que, reunidas las de varias neuronas en una **fibra nerviosa**, les permiten relacionar entre sí territorios orgánicos a veces muy alejados.

Otras células nerviosas, las células de **neuroglia**, desempeñan un papel auxiliar en la transmisión del impulso nervioso, pero están también muy diferenciadas morfológicamente, ostentando formas más o menos estrelladas con múltiples prolongaciones.



# LA REPRODUCCION Y EL DESARROLLO DE LOS SERES PLURICELULARES

*Anteriormente hemos visto cómo se reproducen las células y cómo se forman los organismos pluricelulares por aumento en número de los elementos celulares que los componen. Este aumento no es indefinido y llega un momento en que el crecimiento individual se detiene y solamente se reproducen aquellas células que han de sustituir a las que se destruyen durante las funciones normales del individuo, por pérdida o desgaste de los órganos. Se dice entonces que el individuo ha llegado a su estado adulto y está en condiciones de reproducirse, es decir, de dar origen a otros individuos semejantes a ellos que quedarán en el mundo cuando los padres mueran.*

*La reproducción de los seres pluricelulares puede suceder de varias maneras y en este capítulo se estudiarán las distintas modalidades por las que puede llevarse a cabo.*

## **REGENERACION Y MULTIPLICACION VEGETATIVA**

En la mayoría de los seres vivos en estado adulto hay muchas células que no se reproducen ya, pues los órganos formados por ellas están definitivamente completos. Sin embargo, hay órganos cuyas células mueren y se destruyen a consecuencia del propio funcionamiento del órgano y en ellos es necesario que las células sigan reproduciéndose para sustituir a las perdidas.

Ejemplo de esto lo tenemos en la epidermis, cuyas células superficiales se queratinizan y se desprenden, siendo sustituidas por las que incesantemente se van produciendo en las capas epidérmicas profundas.

Esta capacidad de sustituir células perdidas se denomina **regeneración**.

En muchas especies animales y vegetales, la capacidad de regeneración es muy grande, pudiéndose regenerar incluso órganos completos. Así, un cangrejo puede regenerar una pata entera y una estrella de mar, un brazo completo.

En ciertos seres la capacidad de regeneración es tan elevada que llega a confundirse con la reproducción. Una lombriz de tierra cortada en dos se regenera de modo que el trozo de atrás produce una nueva parte anterior, mientras que el trozo en que quedó la cabeza regenera una nueva porción caudal; el resultado es que ahora hay dos lombrices, lo que significa que se ha producido una fenómeno de **reproducción**.

Los vegetales nos proporcionan abundantes ejemplos de este tipo. Todos los agricultores saben que una rama enterrada en condiciones adecuadas regenerará un árbol completo, y que un trozo de tubérculo de patata producirá por regeneración una planta entera.

Esta modalidad reproductora se denomina **multiplicación vegetativa**.

## **REPRODUCCION ASEXUAL**

El proceso a que acabamos de referirnos, por el cual se originan nuevos individuos a partir de un conjunto de células procedentes de otro individuo, puede ocurrir también sin que



Colonia de coral.

Una hidra de agua dulce con dos yemas.

se produzca previamente una lesión y constituye un proceso reproductor normal en muchos organismos. En este caso, el fenómeno se denomina **reproducción asexual**, término que significa que el nuevo individuo hijo procede de un **solo y único** individuo paterno.

La reproducción asexual adopta dos modalidades bien distintas. En una de ellas, el individuo hijo procede de un **conjunto de varias células** originadas en el individuo paterno; en la otra, el nuevo individuo nace a partir de **una sola célula** llamada **espora**.

A su vez, la primera de estas modalidades puede adoptar muchas formas que, en general, se pueden reducir a la llamada **gemmación**, o formación de **yemas**.

Una yema consiste en un grupo de células que se diferencia para dar un nuevo individuo, que generalmente se forma como una eminencia en el exterior del cuerpo paterno. El nuevo individuo, una vez formado, se separa del que le dio origen y en la mayoría de los casos comienza una vida independiente.



La gemmación ocurre, por ejemplo, en la hidra de agua dulce y también en muchos vegetales, como en la fresa, en cuya planta hay unos tallos especiales, denominados **estolones**, que dan origen a unas yemas que darán lugar a nuevas plantas completas.

Es interesante hacer notar que en algunos casos los individuos hijos originados por gemmación no se separan del individuo paterno, quedándose en continuidad anatómica y fisiológica con él, de manera que se da origen a unas agrupaciones funcionales llamadas **colonias** en las que el concepto de individuo queda indeterminado, ya que es la colonia entera la que funciona como un todo, integrándose entre sí de tal modo los distintos individuos que la componen, que los límites anatómicos entre ellos se hacen sumamente imprecisos, llegando a veces a especializarse los individuos en algunas funciones de la colonia, que tiene entonces unos individuos encargados de la nutrición,



Espora aérea de un Equisetum mostrando su mecanismo para la difusión aérea.

A - La membrana de la espora se recorta en cuatro franjas.

B - Las cuatro franjas de la membrana se separan para formar un aparato volador.

otros de la defensa, otros de la reproducción, etc. En las esponjas y en los celentéreos que forman las madréporas y corales se pueden observar estas colonias, constituidas por centenares y aun millares de individuos en una absoluta continuidad material y funcional.

La reproducción asexual por esporas asume, a su vez, dos tipos. Unas veces, como en los hongos, las esporas son células que se desprenden del individuo paterno y se difunden llevadas **por el aire** hasta el lugar en donde encuentran condiciones apropiadas para su desarrollo en un nuevo individuo. En este caso la espora es una célula protegida por una membrana resistente, apropiada para impedir la desecación del citoplasma en contacto con el aire.

En otras ocasiones, como en las algas, la difusión de la espora se hace **por medio del agua**. La espora en este caso es una célula móvil con flagelos, que nada hasta que se fija en un lugar adecuado, donde se divide activamente para formar la nueva alga.

## REPRODUCCION SEXUAL

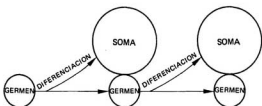
La reproducción sexual es una modalidad reproductora que consiste, esencialmente, en que el nuevo individuo procede de una sola célula llamada **huevo** o **zigoto**, la cual se ha formado a su vez por la unión (**síngamia**) de otras dos células denominadas **gametos**.

### Soma y germen.

Hemos visto en las páginas anteriores cómo en los seres pluricelulares se produce indefectiblemente la diferenciación celular, a fin de que cada estirpe celular asuma las funciones para las cuales se especializa.

Pues bien, en los organismos pluricelulares hay una modalidad de diferenciación que es la **modalidad reproductora**, existiendo estirpes celulares que se especializan en la reproducción.

Estas estirpes celulares destinadas a la reproducción reciben el nombre de **germen**, en contraposición a la denominación de **soma** aplicada a las demás estirpes que se especializan en las funciones orgánicas no reproductoras.



Continuidad del germen a través de las sucesivas generaciones.

En los organismos que se reproducen sexualmente, las células germinales darán lugar a los gametos, pero ya hemos visto que hay casos, como los de multiplicación vegetativa o de gemmación, en los que las células somáticas pueden participar en el proceso reproductor.

### Modalidades de la reproducción sexual.

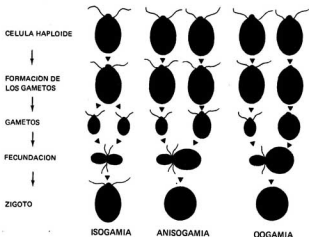
La reproducción sexual aparece ya en los organismos inferiores, y en los diferentes grupos de organismos afecta distintas modalidades, en relación con la forma y el comportamiento de los gametos y con el origen de éstos. Veamos primeramente los diferentes tipos de reproducción sexual, atendiendo a la forma y al comportamiento de los gametos.

En algunos organismos, los dos gametos que se unen para formar el cigoto **son iguales** y se comportan de igual manera.

La unión de los gametos se llama en este caso **isogamia** y no es posible hacer una distinción entre ambos gametos.

En otros casos, en cambio, los gametos **son diferentes** y su unión se llama **heterogamia**. En estos casos hay un gameto mayor (**macrogameto**), especializado en el aporte de material nutritivo al futuro huevo y, en consecuencia, poco móvil; y un gameto menor (**microgameto**), que no aporta material nutritivo y es, en cambio, muy móvil.

En otros casos, en fin, la especialización de los gametos es tan grande que el macrogameto es muy voluminoso y absolutamente inmóvil, mientras que el microgameto ha disminuido su volumen al mínimo y aumentado su movilidad. Se dice entonces que hay **oogamia**.



Modalidades de la fecundación en relación con la naturaleza de los gametos.

Se ha convenido en llamar **femenino** al macrogameto y **masculino** al microgameto, así como en aplicar la denominación de masculinos o femeninos, respectivamente, a los órganos productores de microgametos o de macrogametos, llamados genéricamente **gónadas** u **órganos sexuales**.

En los diversos organismos, gónadas y gametos reciben nombres distintos.

En los vegetales, los gónadas se llaman **gametangios**, recibiendo el nombre de **oogonios** los gametangios femeninos de los vegetales superiores, y **arquegonios**, los de los inferiores; los gametangios masculinos de los vegetales se llaman **anteridios**.

En los animales, las gónadas femeninas reciben la denominación de **ovarios**, y las masculinas, la de **testículos**.

En cuanto a los gametos, en los vegetales, los gametos masculinos se denominan **anterozoides** y los femeninos, **oosferas**; en los animales reciben la denominación de **espermatozoides** y **óvulos**, respectivamente.

Los organismos no poseen siempre gónadas de ambas clases, y por consiguiente, no producen siempre macrogametos y microgametos, de donde resulta que en la reproducción sexual caben también diferencias en función de los individuos que producen los gametos.

En general, se pueden considerar tres tipos de individuos: los **masculinos**, productores de microgametos; los **femeninos**, productores de macrogametos; y los **hermafroditas**, productores de microgametos y de macrogametos.

En ciertas especies, como en los caracoles, todos los individuos son hermafroditas, pero en muchas otras, los individuos son masculinos o femeninos.

## LA MEIOSIS

En la singamia se unen los gametos para formar el cigoto. El núcleo de esta última célula, llamado **sincarion**, está formado por la unión de los núcleos de los gametos, por lo cual contiene **doble número** de cromosomas que cada una de las células sexuales.

Si llamamos **n** al número de cromosomas de cada gameto, el cigoto tendrá **2n** cromosomas. Ahora, el cigoto se divide para formar dos células hijas; cada una de éstas, a su vez, se divide en otras dos, y así sucesivamente hasta constituirse un nuevo individuo. Si todas estas divisiones se realizasen según la mitosis normal, en que el número de cromosomas de la célula madre es el mismo que el de las células hijas, los gametos del nuevo individuo tendrían **2n** cromosomas, que al unirse con gametos semejantes darían cigotos con **4n**, doblándose el número de cromosomas a cada generación.

Esto no sucede así porque entre la singamia y la formación de los gametos se intercalan dos divisiones celulares, durante las cuales el número de cromosomas queda reducido a la mitad. El conjunto de estas dos divisiones, por las cuales se verifica la reducción cromosomática, se llama **meiosis**.

En los organismos que se reproducen sexualmente hay, pues, dos tipos de células, atendiendo al número de sus cromosomas: las células **haploides**, de **n** cromosomas, que resultan de

una meiosis o descienden de otras haploides resultantes de una meiosis; y las células diploides, de  $2n$  cromosomas, que resultan de una fecundación o descienden de otras diploides resultantes de una fecundación.

Desde este punto de vista, la historia biológica de las especies de organismos pluricelulares que se reproducen sexualmente se puede considerar como una serie de generaciones celulares sucesivas; en esta sucesión **se alternan** las células haploides (**haplofase** o **fase haploide**) con las células diploides (**diplofase** o **fase diploide**) y ambas fases están separadas entre sí por la **fecundación** y por la **meiosis**.

## TIPOS DE ORGANISMOS ATENDIENDO A LA ALTERNANCIA DE FASES

En todos los seres pluricelulares en que hay reproducción sexual existe, como hemos visto, la **alternancia de las fases haploide y diploide**. Ahora bien, no siempre, en la vida del organismo, tienen la misma importancia la fase diploide y la haploide.

Según en qué fase se verifique preferentemente la multiplicación celular, se conocen los tres siguientes tipos de organismos:

### a) Organismos haplontes.

En este tipo de organismos, la multiplicación celular se produce exclusivamente en la **fase haploide**. La fase diploide está reducida al cigoto, el cual sufre inmediatamente la meiosis, de la que resultan nuevamente cuatro células haploides.

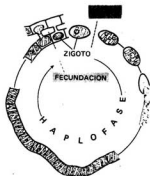
Este tipo de organismos se halla principalmente en los protozoos y algas inferiores, como el flagelado *Chlamydomonas* o el alga *Spirogyra*.

En *Chlamydomonas eugametos*, por ejemplo, las células vegetativas, haploides, se dividen varias veces, dando una población que representa la haplofase. Dos de estas células pueden unirse, actuando como gametos, en un proceso de fecundación isógama, y dan así origen a un cigoto diploide. Por último, este cigoto que representa la diplofase, sufre dos divisiones meióticas, dando origen de nuevo a cuatro células haploides.

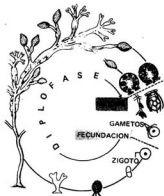
En el alga filamentosa *Spirogyra*, las cosas suceden de una manera parecida. Los filamentos algales, formados por células haploides, representan la haplofase. En un determinado momento, las células de dos filamentos vecinos, actuando como gametos, se fecundan entre sí. De esta unión nace el cigoto, diploide, que representa la diplofase, cuyo núcleo sufre a continuación dos divisiones meióticas, dando lugar a cuatro núcleos haploides. La diferencia con *Chlamydomonas* estriba en el hecho de que de los cuatro núcleos haploides, degeneran tres, de manera que el cigoto solamente tiene un descendiente haploide, en vez de cuatro. Este descendiente será el origen, por mitosis, de un nuevo filamento algal, es decir, de una nueva fase haploide.

### b) Organismos diplontes.

En este tipo de organismos la multiplicación celular se produce exclusivamente en la **fase diploide**. La fase haploide está representada únicamente por los gametos, que se fecundan inmediatamente después de formados.



Ciclo biológico de un organismo haplonte: *Spirogyra*.

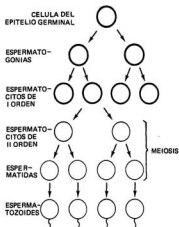


Ciclo biológico de un organismo diplonte: *Fucus*.

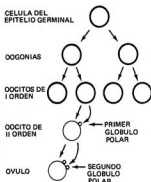
Este tipo de organismos es característico de los animales metazoos, desde las esponjas hasta los mamíferos.

En el hombre, por ejemplo, el huevo o cigoto, diploide, sufre una serie de divisiones mitóticas que tienen por consecuencia el aumento en el número de células diploides hasta llegar a constituir el cuerpo entero. Cuando llega el momento de la madurez sexual, en las gónadas masculinas y femeninas tiene lugar la formación de los gametos, haploides, del siguiente modo:

En el testículo del varón existe un epitelio de células poco diferenciadas, diploides, llamadas **espermatogonias**. Las espermatogonias se dividen varias veces, dando unas células que crecen considerablemente y se llaman entonces **espermatoцитos de primer orden**. Estos espermatoцитos de primer orden son todavía células diploides, pero ahora sufren dos divisiones meióticas y dan lugar a dos **espermatoцитos de segundo orden** por la primera de ellas y a cuatro **espermátidas** por la segunda. Las espermátidas son ya células haploides, es decir, aptas para sufrir las transformaciones morfológicas que las han de convertir en **espermatozoides** o gametos masculinos.



Espermatogénesis en el hombre. Las células diploides están dibujadas en trazo grueso.



Ovogénesis en la mujer. Las células diploides están dibujadas en trazo grueso.



La transformación de espermátidas en espermatozoides es un complicado proceso citológico de diferenciación que lleva consigo que el núcleo se haga muy compacto y que aparezcan nuevos orgánulos, como el **acrosoma** u órgano de penetración, formado a expensas del aparato de Golgi, y la **cola**, u órgano de propulsión, que es un largo flagelo formado a partir del centrosoma de la espermátida.

En el ovario de la mujer, las primitivas células sexuales u **oogonias**, se dividen repetidamente y al final aparecen unas células, todavía diploides, los **oocitos de primer orden**, que crecen mucho más que los espermatozoides de primer orden del varón.

Los oocitos de primer orden sufrirán ahora las dos divisiones meióticas de las que han de resultar células haploides, pero aquí las cosas suceden de diversa manera que en el sexo masculino.

La primera división meiótica origina dos células de igual dotación nuclear, pero muy distinto tamaño y destino. Una de ellas, casi tan grande como el oocito de primer orden, se llama **oocito de segundo orden**. La otra, mucho más pequeña, se denomina **primer glóbulo polar** y es una célula destinada a morir adherida al oocito.

La segunda división meiótica del oocito de segundo orden dará lugar de nuevo a una célula grande y a otra pequeña. La mayor será el **óvulo** o gameto femenino y la menor, un **segundo glóbulo polar** destinado igualmente a la muerte.

La diferencia entre la **espermatogénesis** o formación de los espermatozoides y la **oogénesis** o formación de los óvulos, radica en que en el sexo masculino hay **cuatro** descendientes haploides funcionales (los espermatozoides) por cada espermatozoides de primer orden, mientras que en el sexo femenino, por cada oocito de primer orden no prosperará más que **una sola** célula haploide (el óvulo), ya que los dos glóbulos polares (o los tres, en los raros casos en que el primer corpúsculo polar experimenta la segunda división meiótica) están destinados a morir. En cambio, el único óvulo resultante posee una gran cantidad de materiales nutritivos, que de no ser así habría de compartir con sus células hermanas.

### c) Organismos diplohaplontes.

En este tipo de organismos, la multiplicación celular se realiza tanto en la **fase diploide** como en la **fase haploide**. Así pues, tanto la diplofase como la haplofase están aquí representadas por dos organismos distintos, pluricelulares, lo que da origen a una verdadera **alternancia de generaciones** dentro de la misma especie.

Este grupo biológico de organismos comprende numerosas algas y hongos, pero, sobre todo, las criptógamas vasculares y las fanerógamas.

Hay que decir, sin embargo, que una y otra fase alcanzan una importancia relativa según los grupos, y en ocasiones la fase haploide es tan pequeña y tan unida anatómicamente a la fase diploide que resulta difícil percibir a primera vista que se trate realmente de organismos diferentes. Veremos únicamente dos ejemplos que nos ilustrarán sobre esta alternancia de generaciones.

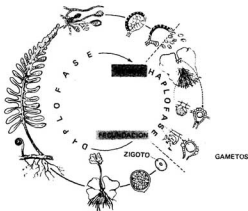
En los helechos, la diplofase está representada por lo que vulgarmente se conoce por la planta del helecho. En los frondes u hojas del helecho aparecen unos órganos, los **esporangios**, en los que se diferencian algunas células todavía diploides, las **células madres de las esporas**, las cuales sufren una meiosis que dará lugar a cuatro células haploides, las **esporas**. Cada espora es el origen de una pequeña planta formada de células haploides, que es la haplofase. En esta plantita aparecen unos órganos reproductores masculinos (**anteridios**) y femeninos (**arquegonios**) en los que se diferenciarán respectivamente, los **anterozoides** o gametos masculinos y las **oosferas** o gametos femeninos. Una vez realizada la fecundación se restablecerá el estado diploide en el **zigoto**, el cual se multiplicará para originar de nuevo la diplofase.

En las plantas fanerógamas, el proceso es muy parecido, pero la fase haploide está tan reducida que no tiene vida independiente y vive «parásita» sobre la fase diploide.

En efecto, la meiosis se produce, por un lado, en una célula dentro del óvulo (1) que está en el interior del ovario de la flor, y da lugar a cuatro células haploides, de las que degeneran tres y una sufre tres divisiones mitóticas, que la convierten en una masa citoplasmática, el **saco embrionario**, con ocho núcleos.

Por otra parte, en algunas células de las anteras de la flor sucede también la meiosis, de la que resulta la formación de cuatro células haploides, cada una de las cuales evolucionará en un **grano de polen**, con dos células.

En las fanerógamas, pues, la haplofase femenina es el saco embrionario, y la haplofase masculina, el grano de polen. Ciertas células de ambas haplofases serán los gametos, que, una vez producida la fecundación, darán el **zigoto**, origen de una nueva planta diploide.



Ciclo biológico de un organismo diplohaplonte: Helecho.

(1) Hay que observar que, a pesar de su idéntica denominación, el óvulo de las fanerógamas no se corresponde con el óvulo de los animales, pues no es el gameto femenino, sino un órgano de la planta.

## LA PARTENOGENESIS

Existen algunos animales y plantas en que de una manera accidental o habitual los óvulos no necesitan ser fecundados por un espermatozoide para desarrollarse en un nuevo individuo.

Este fenómeno se denomina **partenogénesis** y, a pesar de no haber en él intercambio de material genético, se considera como un fenómeno perteneciente a la esfera de la reproducción sexual, ya que hay en él producción de gametos, aunque la fecundación y, por consiguiente, el verdadero acto sexual, se ha perdido en el curso de la evolución.

Este procedimiento de reproducción tiene una gran importancia en muchos animales, y por partenogénesis nacen las generaciones de verano de los pulgones y otros insectos, los machos de algunos crustáceos de agua dulce, los zánganos de las abejas, etcétera.

## TIPOS DE PARTENOGENESIS

Siendo la partenogénesis un fenómeno muy difundido, existen muchas modalidades de la misma, atendiendo a distintas circunstancias. Sin embargo, existen dos tipos muy distintos de partenogénesis atendiendo a la dotación cromosomática de los óvulos que experimentan este fenómeno, y son la **partenogénesis haploide** y la **partenogénesis diploide**.

En la primera de ellas, el óvulo se produce en la ovogénesis de una manera enteramente normal, experimentándose la correspondiente meiosis, por lo cual es una **célula haploide**. Al no producirse una fecundación y no recibir, por consiguiente, la dotación cromosomática del gameto masculino, el individuo nacido de este óvulo partenogenético tendrá solamente células haploides. Este es el caso de los zánganos de las abejas, nacidos de óvulos haploides sin fecundar, los cuales son también haploides y, por consiguiente, cuando hayan de producir sus correspondientes gametos, no experimentarán la meiosis en sus espermátidas.

En el segundo tipo de partenogénesis, el óvulo nace de una ovogénesis anormal, en la que no hay reducción cromosomática. En este caso el óvulo partenogenético es **diploide**, y se desarrolla



Hembra partenogenética del pulgón.

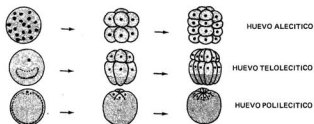
en un individuo también diploide. Es el caso de los pulgones, cuyas generaciones veraniegas están formadas de hembras partenogenéticas diploides que dan origen a óvulos diploides, de los que nacen, a su vez, otras hembras diploides.

## EL DESARROLLO DEL HUEVO EN LOS ANIMALES

Como hemos visto, el producto de la fecundación en la reproducción sexual es una célula diploide, el huevo, que será el origen del nuevo individuo, que al principio y mientras transcurren los primeros estadios de su desarrollo se llama embrión. Veremos ahora brevemente las etapas que sigue esta célula para dar origen a dicho nuevo ser vivo.

### SEGMENTACION

El primer proceso que tiene lugar en el huevo es la **segmentación** o división en varias células, denominadas **blastómeros**. Primero se divide el huevo en dos blastómeros, luego estos dos se dividen en cuatro, y así sucesivamente hasta que se llega a la formación de una pequeña masa de células llamada **mórula**. Ahora bien, dado que el huevo puede tener mayor o menor cantidad de sustancias nutritivas (el **vitelo**), los distintos tipos de huevos tendrán diferentes formas de segmentación. Los huevos con escaso vitelo repartido homogéneamente por toda su masa (huevos **alecíticos** o **isolecíticos**) experimentan una **segmentación total e igual**, es decir, todos los blastómeros son aproximadamente iguales. Los huevos que tienen mayor cantidad de vitelo situado en uno de sus polos (huevos **telelecíticos**) tienen



Primeras fases del desarrollo de distintos tipos de huevos.

**segmentación total y desigual**, lo que quiere decir que la segmentación da lugar a unos blastómeros mayores en el polo en que más abunda el vitelo, o **polo vegetativo**, y a unos blastómeros de menor tamaño en el polo con menos vitelo o **polo animal**.

En los huevos que tienen aún mayor cantidad de vitelo (huevos **polilecíticos**) la segmentación es parcial y discoidal, formándose una serie de blastómeros en el polo animal, que se disponen en forma de disco sobre el resto del huevo, que no se divide, y que está ocupado por la gran masa del vitelo. Por último, existen unos huevos (huevos **centrolectíticos**) en los que el interior está ocupado por una gran masa de vitelo, del que carece la parte superficial. En estos huevos, la **segmentación es parcial y superficial**, es decir, que los blastómeros aparecen solamente en la periferia del huevo, quedando sin segmentar el vitelo central.

## FORMACION DE LA BLASTULA

La mórula es una masa **maciza** de células, pero en seguida se va a convertir en una esfera **hueca**, denominada **blástula**. En la mayor parte de los casos, esto sucede por la aparición de un líquido en el interior de la mórula, líquido producido por sus mismas células y que empujará a éstas hacia la superficie. En otros casos, como en los huevos telolecíticos y centrolectíticos, la cavidad de la blástula, o **blastocèle**, está ocupada por el vitelo.

En todo caso, además, el proceso de formación de la blástula no se debe solamente a efectos mecánicos, sino a que las células nuevas que van apareciendo por mitosis de las preexistentes se van colocando en la superficie, con lo que aumenta paulatinamente el volumen de la cavidad de la blástula.

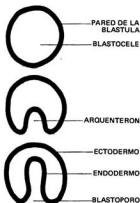
## GASTRULACION

El fenómeno siguiente es la conversión de la blástula en una esfera incompleta de doble pared denominada **gástrula**. El proceso de formación de la gástrula o **gastrulación**, se produce de formas muy variadas según los animales, pero en muchos de ellos se realiza por la **invaginación** de parte de la pared de la blástula, que se repliega hacia dentro de modo que queda incluida en el resto de la pared.

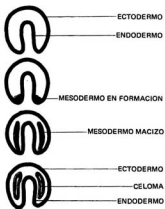
La gástrula tiene, pues, una vez formada, una cavidad interior, el **arquenterón** o intestino primitivo que se comunica con el exterior por un **blastoporo** o boca primitiva. Las paredes del arquenterón están constituidas por las dos **hojas blastodérmicas** primitivas, el **endodermo** hacia dentro y el **ectodermo** hacia fuera, quedando entre ambas el resto del blastocele.

## FORMACION DEL MESODERMO

Por último, y por emigración de algunas células de las dos hojas blastodérmicas, aparece una tercera hoja entre ambas, el **mesodermo**, que al principio es macizo, pero que luego se ahueca para que aparezcan en su interior una o más cavidades, cuyo



Gastrulación de la blástula.



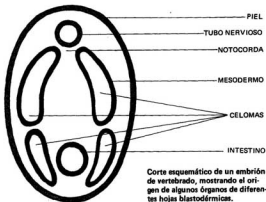
Formación del mesodermo.

número y situación varían en los distintos animales. Estas cavidades son los **celomas**.

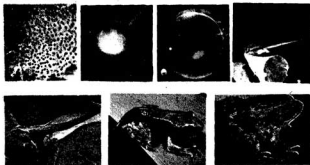
## IMPORTANCIA DE LAS HOJAS BLASTODÉRMICAS

La significación biológica de las primeras fases del embrión es muy grande. Existen animales en los que el desarrollo se detiene en la fase de gástrula, como los celentéreos, formados en la práctica por un endodermo y un ectodermo. La mayoría de los animales, sin embargo, superan esta fase, y en ellos aparece el mesodermo y los celomas, por lo que se denominan **celomados**, en oposición a los **celenterados**.

Pero, además, los distintos órganos de los animales se formarán precisamente a partir de cada una de las hojas blastodérmicas, de manera que en el animal adulto los esbozos de los órganos tienen un origen preciso y determinado ya desde el embrión. Así, en los vertebrados, el **ectodermo** dará lugar a la epidermis con sus glándulas y fáneras, las extremidades anterior y posterior del intestino, el sistema nervioso; el **endodermo** formará el epitelio y las glándulas del aparato digestivo, los pulmones, el tiroides; mientras el **mesodermo** originará los músculos, el esqueleto, el sistema circulatorio, los riñones, las gónadas, la dermis.







Metamorfosis de la rana.

## ESTADIOS EN EL DESARROLLO

Muchos animales se desarrollan directamente a partir del embrión sin cambiar mucho su forma y su fisiología. Estos animales experimentarán unos cambios de cierta significación, sobre todo por ponerse en funcionamiento el aparato reproductor más tarde que los demás. De acuerdo con este retraso reproductor, que va precedido por el crecimiento y maduración de los demás sistemas, el individuo atraviesa los estadios **infantil**, **juvenil** y **adulto**, momento éste en que el individuo alcanza su plenitud reproductora. Posteriormente sucede el decaimiento corporal, con la **vejez** y la **muerte**.

Otros animales, por el contrario, atraviesan unas fases juveniles cuyas características fisiológicas y anatómicas son muy diferentes de las del adulto, denominándose entonces **larvas** a estos individuos jóvenes e inmaduros. Las larvas suelen convertirse en animales adultos mediante unos cambios rápidos y profundos, que constituyen la llamada **metamorfosis**.

Entre los vertebrados, no hay metamorfosis más que en los anfibios, de larvas acuáticas y respiración branquial, frente a los hábitos más o menos terrestres y la respiración pulmonar de los adultos; en los invertebrados, en cambio, existen muchos grupos en los que hay uno o varios estadios larvarios, como en los equinodermos, muchos gusanos, gran parte de los crustáceos, la mayoría de los insectos, etc.



# **BIOLOGIA**

## **I**

**d. f. galiano**

