



© Fondo de Cultura Económica

¿CÓMO FUNCIONA UNA CÉLULA? FISIOLÓGÍA CELULAR

Autor: ANTONIO PEÑA

- [COMITÉ DE SELECCIÓN](#)
- [EDICIONES](#)
- [AGRADECIMIENTOS](#)
- [INTRODUCCIÓN](#)
- [I. LAS MOLÉCULAS Y LAS CÉLULAS](#)
- [II. EL METABOLISMO , O LAS TRANSFORMACIONES DE LAS MOLÉCULAS EN LAS CÉLULAS](#)
- [III. LOS COMPONENTES CELULARES](#)
- [IV. ESPECIALIZACIÓN CELULAR](#)
- [REFERENCIAS](#)
- [COLOFÓN](#)
- [CONTRAPORTADA](#)



COMITÉ DE SELECCIÓN

Dr. Antonio Alonso

Dr. Juan Ramón de la Fuente

Dr. Jorge Flores

Dr. Leopoldo García-Colín

Dr. Tomás Garza

Dr. Gonzalo Halffter

Dr. Guillermo Haro †

Dr. Jaime Martuscelli

Dr. Héctor Nava Jaimes

Dr. Manuel Peimbert

Dr. Juan José Rivaud

Dr. Emilio Rosenblueth †

Dr. José Sarukhán

Guillermo Soberón

Coordinadora Fundadora:

Física Alejandra Jaidar †

Coordinadora:

María del Carmen Farías



Primera edición, 1995

La Ciencia desde México es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Subsecretaría de Educación e Investigación Científica de la SEP y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

D. R. © 1995, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

Carretera Picacho-Ajusco 227; 14200 México, D.F.

ISBN 968-16- 4365-8

Impreso en México

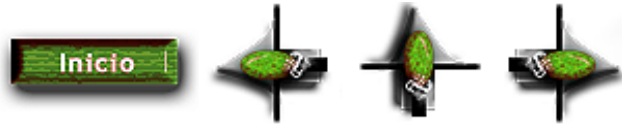


AGRADECIMIENTOS

Agradezco muy en especial a

AURA PEÑA

la revisión cuidadosa que hizo del manuscrito



INTRODUCCIÓN

Uno de los temas de mayor interés para los seres humanos sin duda, es saber cómo funcionan las células. Como unidades de los seres vivos que son, su conocimiento resulta esencial para entender cómo trabajan los tejidos, los órganos y los sistemas. La agregación de células les confiere propiedades adicionales, que no modifican la mayoría de sus propiedades originales, pues sus funciones básicas siguen siendo las mismas. Un organismo multicelular, no importa lo complejo que sea, continúa basando su funcionamiento en el de cada una de sus células, agregando funciones a las ya existentes en ellas.

Los estudios sobre el comportamiento celular se iniciaron gracias a la acción de varias actividades paralelas, que poco a poco han ido convergiendo en un solo camino que tiende a integrar todos los conocimientos al respecto.

A partir del descubrimiento del microscopio por Van Leeuwenhoek, se inició el estudio de las funciones celulares que podían ser observadas con este instrumento, la división de las células por ejemplo. El descubrimiento del microscopio abrió la posibilidad de observar objetos muy pequeños y tuvo a la vez el mérito enorme de haber estimulado la curiosidad de los humanos por conocer más sobre las propiedades y características de tejidos y células.

De manera tanto independiente, a partir de los primeros años del siglo pasado, comenzó el estudio de la composición química de los organismos vivos. Con cierta rapidez, se llegó a definir un enorme número de compuestos de todos tipos y complejidades que se podían aislar de los organismos vivos; se generó así una vasta área del conocimiento humano, la llamada *química orgánica*.

Uno de los organismos que, desde antes del principio de los siglos que nuestro calendario cuenta, atrajo la atención de los humanos, a causa de su utilidad en la fabricación del pan y el vino fue la levadura. Pero sólo a principios del siglo XIX | se iniciaron los estudios encaminados a conocer su funcionamiento, en principio dentro del marco de numerosas consideraciones religiosas y filosóficas. Schwann, científico alemán, definió que la levadura era un organismo vivo, responsable de la fermentación, e inició violenta polémica en contra de las críticas de otro científico, Liebig, quien no sólo se opuso a las ideas de Schwann sino que hizo cruel burla de ellas. Muchos años después, Pasteur realizó los interesantes experimentos que confirmaron las ideas de Schwann y que fueron, en cierta forma, los precursores de la actual biotecnología. Gracias a ellas se demostró que los problemas de la mala calidad de la cerveza francesa frente a la alemana provenían precisamente de la presencia de bacterias en los inóculos de levadura que se utilizaban para la producción de la bebida, y surgió la posibilidad de resolver el problema. La levadura es capaz de realizar la siguiente transformación:



El interés por las levaduras se debe a que el CO_2 (bióxido de carbono) es el que produce las burbujas en la masa de harina, que al hornearla, le dan suavidad al pan, ya que el alcohol es el principio activo de cientos y quizá miles de bebidas espirituosas en todo el mundo, además de una sustancia de gran importancia industrial.

Hacia finales del siglo pasado, Büchner describió la capacidad de las células rotas de levadura, que podrían ser consideradas muertas, de fermentar el azúcar. Este descubrimiento abrió la puerta para que muchos otros científicos se lanzaran al estudio de tal transformación. Desde de un principio se puso de manifiesto la enorme dificultad que implicaba aclarar la naturaleza del proceso. Se necesitaron muchos años de trabajo y la labor de numerosos y brillantes investigadores para caracterizar el gran número de compuestos que intervenían. Quedó claro que había sustancias complejas, a las que se dio el nombre de enzimas (del griego *zymos* levadura) que eran responsables de producir las transformaciones de unos intermediarios en otros. Se fueron encontrando muchas otras sustancias que intervenían en el proceso y luego se descubrió que en los músculos de los organismos vivos se daban transformaciones semejantes. Más tarde se vio que el mismo proceso, como tal, o con algunas variaciones, también lo realizaban miles de organismos y prácticamente todos los tejidos vivos conocidos. Hacia los primeros años de este siglo, a partir de esos descubrimientos, nació la *bioquímica*.

A continuación se desarrollaron también los estudios sobre las transformaciones de otras sustancias, como las grasas y las proteínas. El trabajo de decenas de años de miles de investigadores de todo el mundo ha llevado al

estado actual de conocimiento que tenemos sobre el metabolismo, esa enorme y complicada serie de transformaciones que experimentan constantemente las sustancias que ingerimos o que producimos en nuestro organismo.

Al mismo tiempo, y con el desarrollo de mejores microscopios, se avanzó en la descripción de la estructura de los microorganismos, los tejidos animales y vegetales y su componente unitario, la célula. Aunque en un principio fue un proceso difícil y estuvo combinado con gran cantidad de imaginación y especulación, el conocimiento del interior de la célula aportó hechos reales y teorías; con gran lentitud se fue descubriendo la imagen de los componentes, pero sólo recientemente se le asignó alguna función a cada uno. Uno de los grandes avances modernos fue el invento del microscopio electrónico, que aclaró conceptos, amplió conocimientos, y cada día, aun en la época actual, nos ofrece nueva información sobre la fina estructura de nuestras células.

A finales de los cuarenta se inició el camino para integrar los conocimientos sobre las formas o estructuras de las células y sus funciones. Por estas fechas se logró aislar los organelos celulares y se inició el difícil trabajo de aclarar sus funciones. Fue a partir de entonces que se inició un trabajo más integrado, para conocer y relacionar las funciones y las estructuras; lo cual dio pie a que en la época actual, la adquisición de nuevos conocimientos gire alrededor de un esquema general que reúne los conocimientos sobre la composición y el funcionamiento de las moléculas, las estructuras celulares, las células mismas, los tejidos, los órganos y los individuos.

Las características estructurales de los componentes celulares se pueden estudiar en las células íntegras. También, en ocasiones, es posible inferir conceptos fisiológicos de las imágenes que se observan, como sucede en el curso de la división celular, de donde se ha obtenido mucha información sobre los cromosomas y su división, su papel en la transmisión de las características hereditarias de unas células a otras, y otras propiedades de las células durante su división.

Por el contrario, en el caso de algunos organelos, es difícil obtener información sólo con observar diferentes estados de la célula. Para conocerlos ha sido necesario obtenerlos en forma más o menos pura, a partir de homogeneizados celulares hechos con ciertas precauciones. El caso del fraccionamiento de las células hepáticas nos da idea de lo sencillo que resulta obtener algunos de sus componentes. En la figura 1 se presenta un esquema del sistema que se emplea para fraccionar por centrifugación a velocidades variables los elementos de las células.

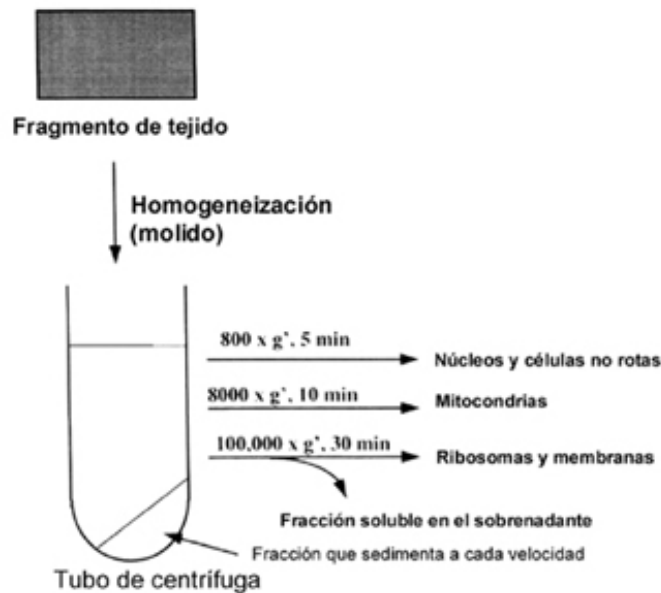


Figura 1. Sistema general para obtener organelos celulares. A partir de un homogeneizado de células rotas, por centrifugado a diferentes velocidades y tiempos, se obtienen los distintos organelos.

Para hacer un homogeneizado, primero se cortan con unas tijeras fragmentos pequeños de tejido. Se utiliza un

medio isotónico, es decir, que contenga una concentración de sustancias semejantes a la de las células y organelos, para que los cambios de la presión osmótica conserven al máximo la estructura y la función de los componentes.

Luego se coloca el homogeneizado en un tubo de centrifugación y se pasa a través de una gasa, para eliminar los fragmentos de tejido que no se han roto y material fibroso. Si se somete a centrifugación a una velocidad que aumente 600 veces la fuerza de la gravedad, en unos diez minutos se van al fondo las células completas y los núcleos. También es factible utilizar procedimientos adicionales para purificar los núcleos, lavándolos de diferentes maneras y volviéndolos a separar por centrifugación.

El sobrenadante de esta primera centrifugación se puede someter luego a una fuerza centrífuga 15 000 veces mayor que la gravedad. Así se obtiene un paquete o pastilla de material en el fondo, que contiene en su mayor parte mitocondrias, lisosomas y otras partículas, como los centriolos. También hay procedimientos para purificar cada uno de estos componentes.

Si se toma el sobrenadante de esta segunda centrifugación y se somete ahora a una fuerza 105 000 veces mayor que la de la gravedad durante 60 minutos, se obtiene la llamada fracción microsomal (de microsomas), formada principalmente por vesículas del retículo endoplásmico, muchas de las cuales tienen adheridos los ribosomas. Por este procedimiento, utilizando sustancias que permiten liberar los ribosomas de las membranas, por ejemplo un detergente, y centrifugando de nuevo a la misma velocidad, se obtienen los ribosomas puros.

Finalmente, al sobrenadante que resulta de la centrifugación a 105 000 x g, se le llama *fracción soluble o citosol*, y representa solamente una dilución del material no particulado de la célula en el medio de homogeneización.

Las fracciones que se obtienen así se utilizan para muchos estudios que nos dan información sobre las funciones de cada organelo. Es claro que los métodos para romper y homogeneizar las células varían de unos tejidos o tipos celulares a otros, y el caso de las células hepáticas no es más que un ejemplo de uno de los métodos más sencillos que hay.

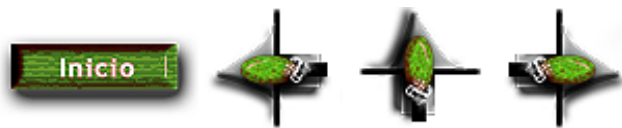
Si queremos acercarnos al conocimiento de las funciones celulares, no debemos olvidar el papel que desempeñaron los microorganismos en estas investigaciones; aunque mencionamos a la levadura, participaron muchos otros microbios, entre los que destaca el colibacilo o *Escherichia coli*, humilde bacteria que crece en el intestino de casi todos los humanos. De hecho, aquellos estudios que se iniciaron por simple curiosidad, permitieron saber que hay grandes variaciones en el comportamiento metabólico de los microbios y los hongos microscópicos. De los estudios básicos de los científicos surgieron productos de gran beneficio para la humanidad, como las sulfas o los antibióticos. Este trabajo de investigación llevó a desarrollar la *biotecnología*, el amplio campo donde se obtienen diversos productos de los seres vivos.

Otro capítulo importante, iniciado en los años cincuenta, fue la posibilidad de cultivar células de organismos superiores; posteriormente se desarrolló el conocimiento sobre sus funciones. Por ejemplo, no sólo se pudo llegar a cultivarlas, sino se demostró que una célula de un organismo es capaz de regenerarlo; también se encontró que cultivando células vegetales, en algunos casos se pueden reproducir de manera mucho más rápida que por la siembra, variedades de plantas que conservan sus características. Los cultivos celulares pueden ser invadidos por los virus, pero esto, que pudiera parecer una tragedia, ha servido para reproducir algunos de estos agentes patógenos y así elaborar algunas vacunas contra ellos.

Este libro busca acercar al lector al conocimiento de algunas de las funciones generales de las células, para que se asome al mundo maravilloso de las estructuras y el acomodo de funciones extraordinarias que tienen cabida en un espacio tan pequeño. Casi todos creemos que una neurona y una célula muscular se comportan de manera muy distinta; sin embargo, al revisar sus funciones fundamentales resulta que son muchas más las semejanzas que las diferencias, y que es posible establecer un patrón o sistema general de comportamiento, no sólo de las células, sino de sus componentes, la membrana, los organitos u organelos celulares, el núcleo, las mitocondrias, etc. Además, esto es válido no sólo en lo que se refiere a las funciones, que típicamente se describen a nivel fisiológico (como la reproducción, el movimiento u otras características) sino para la base de las funciones celulares que es en última instancia la gigantesca serie de transformaciones químicas, el gran número de interacciones de sus moléculas, en el intrincado mundo en el cual ya no es posible diferenciar entre la bioquímica, la biología molecular y la fisiología de las células. Todo el conocimiento se va integrando dentro del área que recibe el nombre de *biología celular o fisiología celular*.

Como consecuencia, se busca presentar una imagen integral de las funciones celulares, sin diferenciar entre las que se pueden apreciar de manera macroscópica, como la división celular, y aquellas que no podemos ver, como las transformaciones de la energía o el transporte de sustancias hacia el interior o el exterior de la célula, y que en términos generales han sido consideradas más bien del dominio de la *bioquímica*. En el mundo actual, y cada vez con mayor frecuencia, tienden a desaparecer las divisiones artificiales que en una época fueron más o menos claras, pero que más bien fueron reflejo de la ignorancia de los investigadores, y no una realidad biológica. Es fundamental que el lector asimile la idea de que no hay separación entre el movimiento de una célula que podemos ver en el microscopio, o incluso a simple vista, y los procesos moleculares que ocurren en él. Las células se mueven porque algunas de sus moléculas se acortan o alargan, resultado de interacciones y deslizamiento de sus componentes y la participación de otras, unas pequeñas y otras grandes, la mayor parte de ellas invisibles a nuestros ojos, pero todas relacionadas de tal forma que finalmente hacen posible el fenómeno macroscópico que podemos observar, la contracción de la fibra muscular.

Es importante también que el lector esté dispuesto a revisar otros libros que en esta misma serie tocan conocimientos o temas que aquí se verán de manera muy resumida. Al final se darán algunos títulos que servirán de consulta a quien esté interesado en ampliar ciertos conocimientos. Algunos de estos libros pertenecen a esta misma colección, La Ciencia desde México, donde los estudiantes encontrarán textos sencillos y amenos, que harán aumentar su interés por los temas que aquí presentamos. También haremos referencias a obras más complejas, las cuales llevarán al interesado por un camino que finalmente lo guiará hasta las fuentes primeras, los trabajos originales de los investigadores.



I. LAS MOLÉCULAS Y LAS CÉLULAS

DE QUÉ ESTAMOS HECHOS

LAS células, tejidos y organismos, tienen como base estructural miles de moléculas cuyo comportamiento no obedece otras leyes que las generales de la física y de la química. Para penetrar en el conocimiento del funcionamiento de las células, hay que comenzar por saber, en última instancia, de qué tipos de moléculas están hechas. Llegará el día en que conozcamos la estructura detallada y el funcionamiento de cada una de esas moléculas.

Aunque los organismos vivos están compuestos de una variedad limitada de átomos, la variedad de moléculas es enorme; ello se debe, en parte, a que en su composición el elemento central es el carbono. Este elemento puede formar cadenas, y una gran diversidad de compuestos; en la mayor parte de los casos se combina con el hidrógeno y el oxígeno, pero en muchísimos otros con distintos elementos.

Aunque es enorme la diversidad de sustancias que compone a los seres vivos, por sus semejanzas estructurales es posible agruparla en ciertas categorías. Hay compuestos cuyas unidades son cadenas cortas de átomos de carbono, a los cuales se unen hidrógenos y grupos -OH (oxhidrilos); se llaman *azúcares* (porque sus unidades son dulces). Hay otros compuestos, también de gran variedad, pero con semejanzas estructurales entre sí, que están formados en gran parte por cadenas largas, la mayoría de 16 a 18 átomos de carbono e hidrógeno; se llaman *lípidos*. Otra clase más de sustancias, además de carbono, oxígeno e hidrógeno, contiene otro elemento fundamental, el nitrógeno, en la forma de -NH_2 (grupo amínico), a base de unidades pequeñas, en número de 20 distintas, que se unen para formar largas y complicadas cadenas, las *proteínas*.

LOS AZÚCARES, ALMACENES DE LA ENERGÍA SOLAR

Estas sustancias compuestas de carbono, hidrógeno y oxígeno, reciben también el nombre de hidratos de carbono o carbohidratos. Así se les llamó porque en muchos de ellos, por cada átomo de carbono hay dos de hidrógeno y uno de oxígeno, en la misma proporción que en el agua. Al oxidarse estos compuestos constituyen la fuente principal de energía según la reacción siguiente:



Durante la fotosíntesis, el proceso es al revés; con la energía del Sol, y en un proceso que describiremos más adelante, las células vegetales y las bacterias fotosintéticas son capaces de sintetizar azúcares a partir de CO_2 y H_2O . Posteriormente, los animales, incluyendo al hombre, invertimos ese camino, tomando la energía de los azúcares, que originalmente provino del Sol, para realizar nuestras funciones vitales. Así, los azúcares son en realidad una forma de almacenamiento de energía solar que los animales aprovechamos para vivir.

En la fotosíntesis se produce glucosa; este azúcar de seis átomos de carbono se puede transformar en muchos otros azúcares semejantes, ya sean también de seis, de menos, o de más átomos. Entre los más comunes y conocidos se encuentran, desde luego la *glucosa*, que es la unidad para formar muchas de las moléculas que comemos, como el almidón del trigo, maíz, papas, etc., la *fructosa*, o azúcar de la fruta, y la *galactosa*, de la leche, ambos de seis átomos de carbono, y la *ribosa* y la *desoxirribosa*, de cinco átomos de carbono cada una. Estos azúcares se comportan como unidades que se repiten en la estructura de otros, y por ello se les llama monosacáridos. El nombre de monosacáridos viene del griego, *sacarós*, dulce, y *monos*, único, uno, es decir, unidad. El nombre del azúcar es de origen árabe, *açucçar*.

Estos azúcares simples y relativamente pequeños se pueden unir para formar, por ejemplo, la *sacarosa*, o azúcar común, formada por una molécula de fructosa y una de glucosa. El azúcar de la leche, la *lactosa*, está formado por la unión de una molécula de glucosa y una de galactosa. A estos azúcares formados por dos monosacáridos se les llama disacáridos.

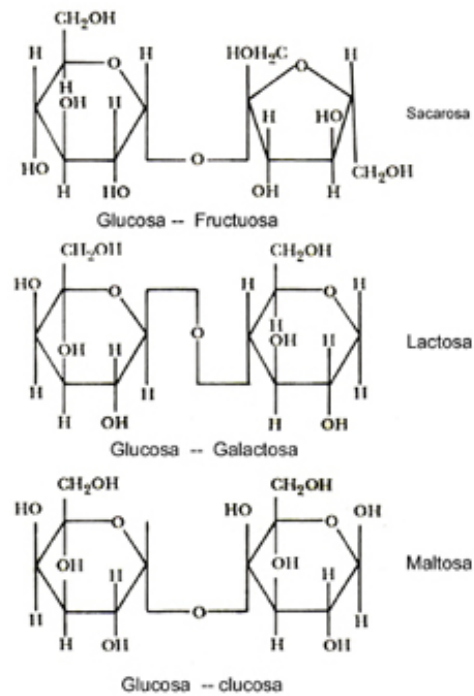


Figura I.1. Los azúcares simples y los disacáridos. Los monosacáridos se pueden unir para formar los disacáridos, como el azúcar común, la sacarosa, o el azúcar de la leche, la lactosa.

Hay otras posibilidades, hasta llegar a la que consiste en la unión de miles de estos monosacáridos, como la glucosa, que produce varios compuestos: los polisacáridos (del griego *polis*, muchos). Entre éstos se encuentra el *almidón*, que representa la forma más común de almacenar azúcar en las semillas y algunas raíces de las plantas, y el *glucógeno*, que cumple la misma función pero en los tejidos animales. Ambos compuestos son el resultado de la unión de miles de moléculas de glucosa. Hay otra sustancia semejante, la *celulosa*, que está formada por cadenas larguísimas de glucosa que se constituyen en fibras, y que es casi el único componente de la madera y el algodón, y de la fibra vegetal en general.

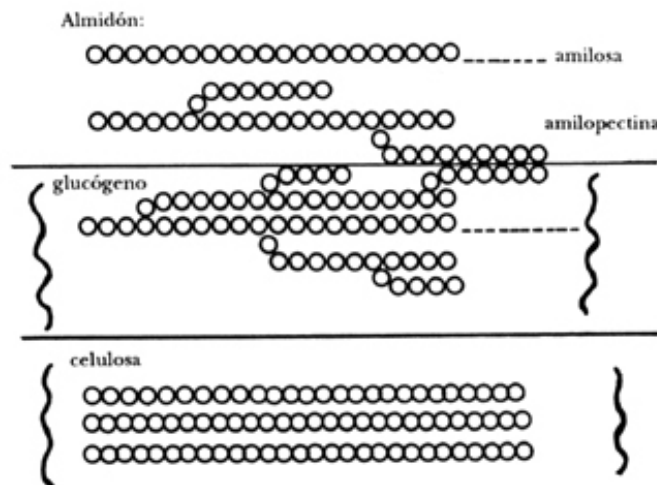


Figura I.2. El almidón, el glucógeno y la celulosa. Miles de unidades de glucosa se unen para formar estos compuestos.

Los azúcares simples o monosacáridos se pueden convertir en otros, también pequeños, a los que se llama

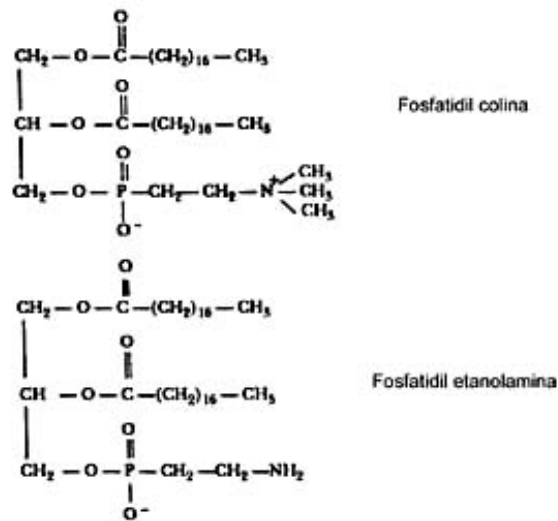


Figura I.4. Un fosfolípido. Es parecido a una grasa neutra, pero en su composición intervienen, además de los ácidos grasos, el ácido fosfórico (H₃PO₄) y otras sustancias como el inositol, la colina y otras. Tiene una parte llamada polar, capaz de interactuar con el agua, y una "cola", que es rechazada por ella, que los obliga a formar una doble capa, base de la estructura de las membranas celulares.

Los fosfolípidos tienen la propiedad de que su parte compuesta por la cadena hidrocarbonada, semejante al aceite, que forma una especie de "cola", es rechazada por el agua. La otra porción, la "cabeza", puede interactuar libremente con el agua. Así, cuando se dispersan en el agua, y más aún, cuando se producen en las células, se organizan de manera tal que la porción hidrocarbonada, también llamada *apolar* es rechazada por el agua y se retrae para unirse con las de otras, mientras que la parte *polar* queda expuesta al agua, formándose una doble capa, impermeable en su porción central a las moléculas voluminosas o recubiertas de agua. Esta es la estructura fundamental alrededor de la cual se agregan otras sustancias en las membranas celulares.

Hay otros lípidos de tipo diferente entre los cuales se encuentra el colesterol, que forma parte de muchas membranas, así como otras moléculas semejantes en su estructura más que en sus funciones o propiedades, como algunas hormonas y vitaminas, los ácidos biliares y otras.

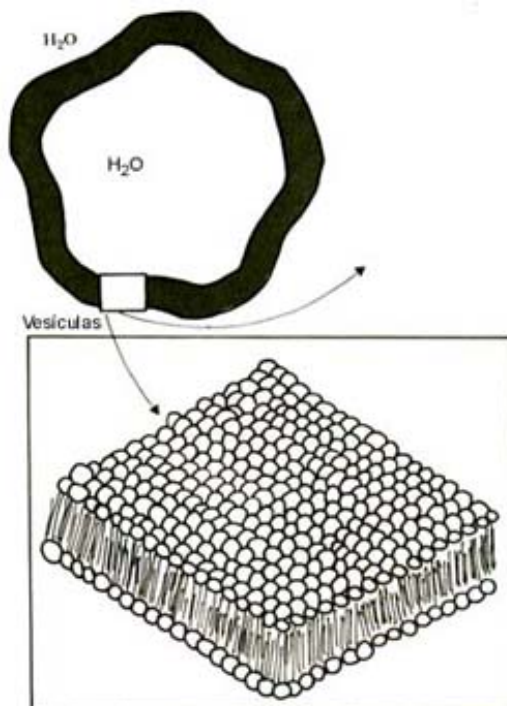


Figura I.5. La organización de los fosfolípidos y las membranas. Las porciones polares de los fosfolípidos quedan en contacto con el agua, y las porciones apolares, rechazadas por ella, forman una doble capa, impermeable a un gran número de sustancias.

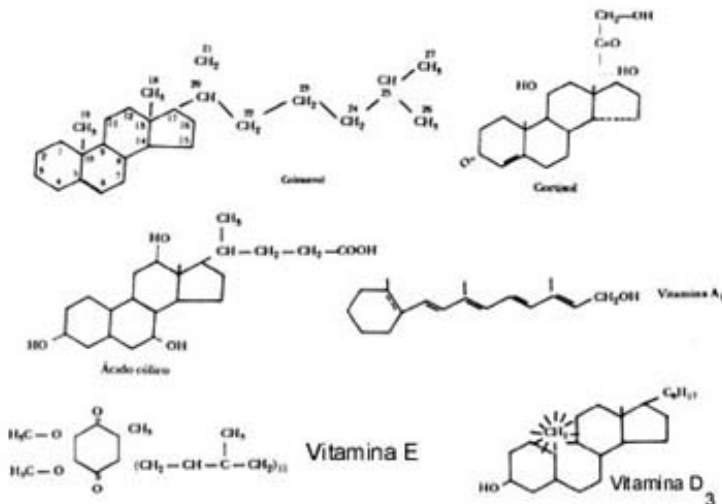
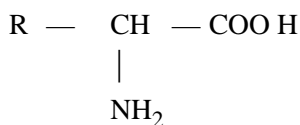


Figura I.6. El colesterol, la cortisona, el ácido cólico, las vitaminas A, E y D forman también parte del grupo de los lípidos.

Las mantecas y aceites comestibles son también fuentes muy importantes de energía en los animales y los vegetales. En mayor o menor grado, todos tenemos grasa en distintas partes del cuerpo; algunos individuos incluso llegan a acumular cantidades enormes; en este caso, difícilmente podríamos pensar que fueran almacenes de energía. Es tal la importancia que se da a la acumulación exagerada de grasa, que se le considera una enfermedad. Por otra parte, las acumulaciones de grasa en algunas partes del cuerpo nos sirven para protegernos de golpes, pues son como colchones. La grasa también es un aislante que nos permite resistir el frío. También la grasa acumulada bajo la piel es la que da al cuerpo femenino su contorno suave y gran parte de su belleza.

LAS PROTEÍNAS

Hay alrededor de 20 sustancias diferentes que tienen la estructura siguiente:



Por tener el grupo **-COOH** o carboxilo son ácidos orgánicos, y por poseer el grupo amínico (**-NH₂**) son aminas, por lo que se les llama aminoácidos. El grupo representado por **R** puede cambiar desde un átomo de hidrógeno, hasta estructuras más complicadas, para dar 20 distintos compuestos, que se unen entre sí para formar variadas cadenas de diferente longitud y que reciben el nombre de *proteínas*. A continuación se representa la estructura de una de ellas, en la que se puede apreciar su estructura complicada que les confiere extraordinarias propiedades; éstas son las piezas funcionales de la maquinaria celular. Por ejemplo, las proteínas son las que, en las membranas, se encargan de identificar y permitir el paso de sustancias hacia uno y otro lado; son las que, como enzimas, se encargan de facilitar miles de reacciones químicas de las que depende la vida de la célula, así como de muchas otras funciones.

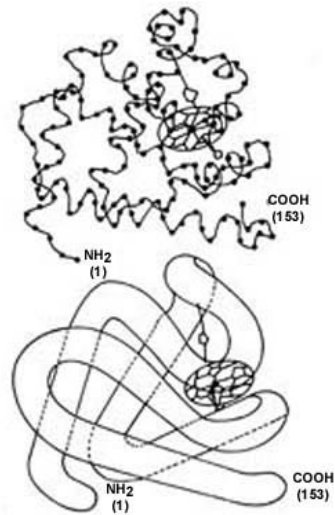


Figura I.7. La estructura de una proteína (la mioglobina). Los aminoácidos se unen entre sí y forman largas cadenas, que dan como resultado estructuras muy complicadas que permiten funciones de extraordinaria complejidad. Las proteínas son los elementos funcionales por excelencia de las células.

LOS ÁCIDOS NUCLEICOS

En las células hay también otro grupo de moléculas pequeñas, formado por la adenina y la guanina, llamadas bases púricas, las bases pirimídicas, la citosina, el uracilo y la timina, que se unen como se presenta en la figura I.8 para formar los nucleótidos o desoxirribonucleótidos. Estos, a su vez se unen en largas cadenas para formar los ácidos nucleicos: el DNA o ácido desoxirribonucleico a partir de los desoxirribonucleótidos y el RNA a partir de los ribonucleótidos.

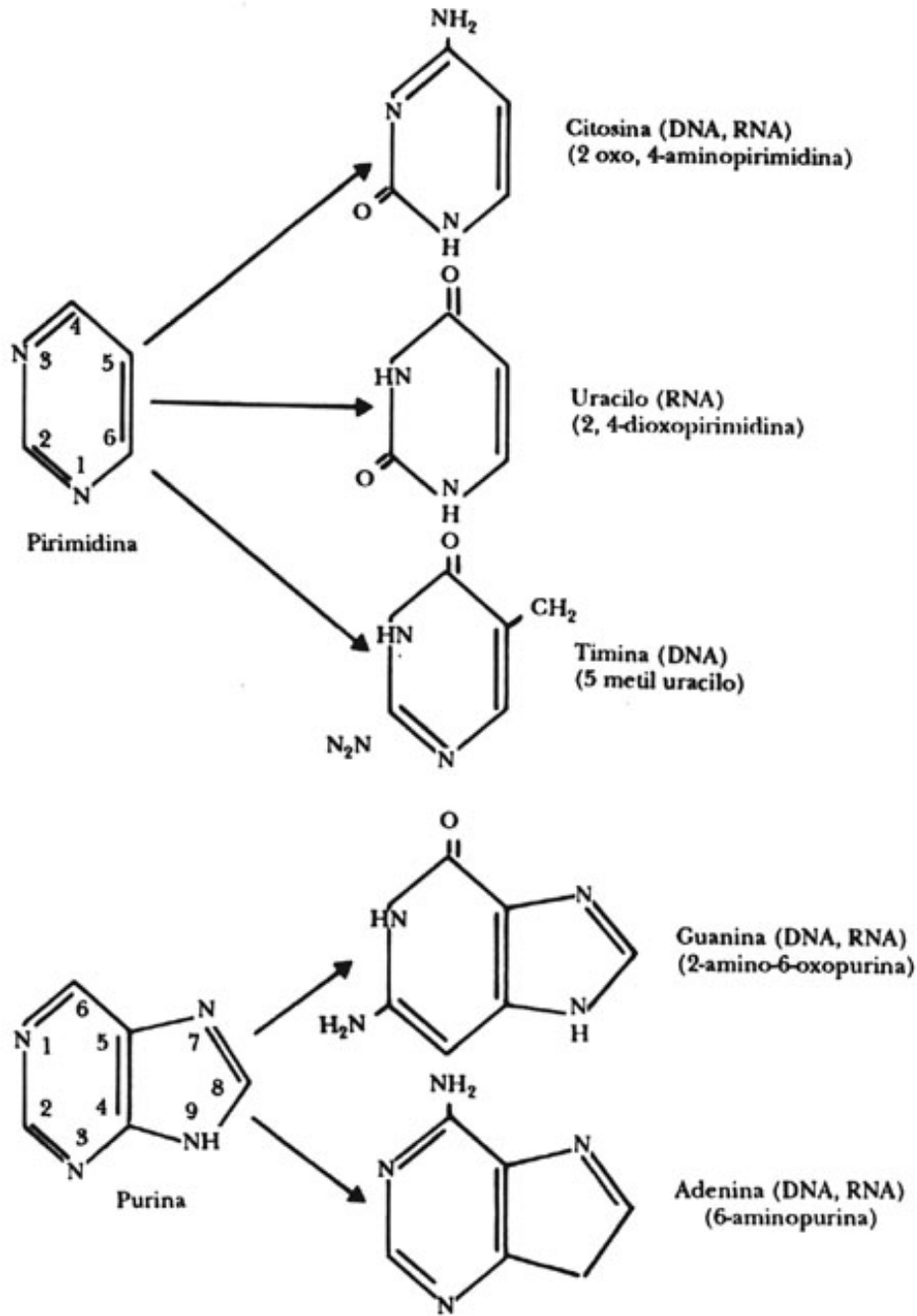


Figura I.8. Las bases púricas y pirimídicas, los nucleótidos. Éstas son las unidades que forman los ácidos nucleicos siguiendo un orden siempre bien definido.

Estas moléculas deben su importancia a que las células las pueden duplicar y sintetizar, según las reglas precisas que les permiten conservar y utilizar la información que las células y los organismos necesitan para mantener sus componentes, su estructura y su vida misma. El DNA, debido a esta propiedad de ser duplicado con precisión, es la molécula que permite que se reproduzcan los seres vivos y que, gracias al mecanismo de la herencia, permanezcan casi invariables las características individuales, según la especie de cada uno.

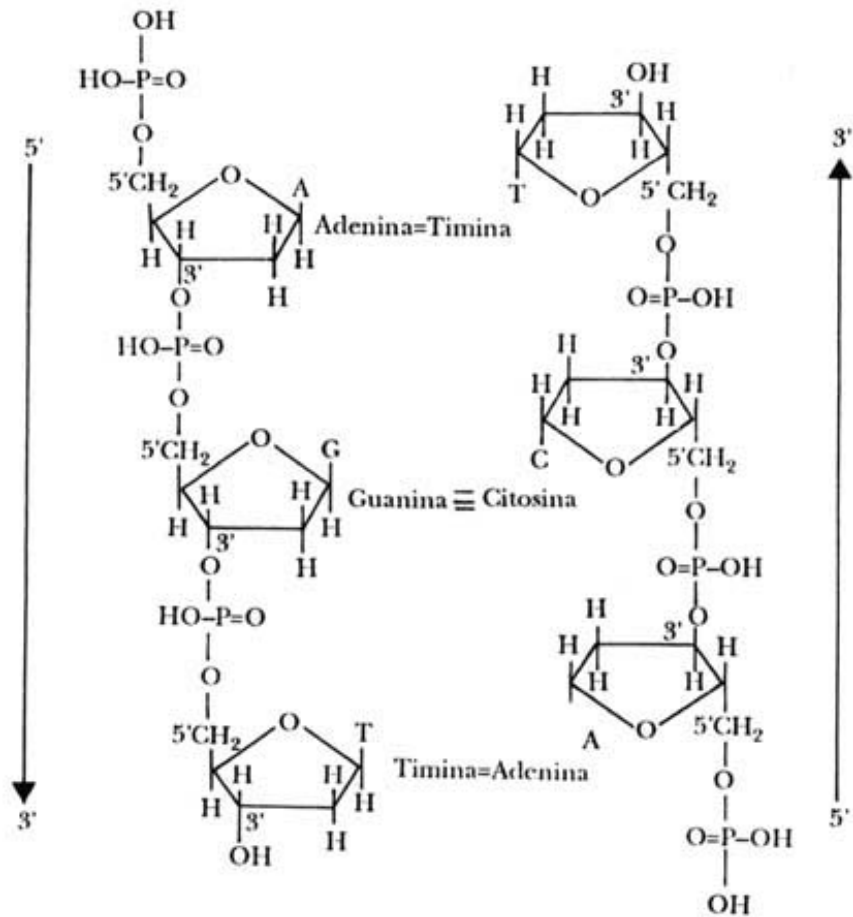


Figura I.9. Los ácidos nucleicos son cadenas enormes de nucleótidos, que tienen "escrita", en clave la información, en el caso del DNA, se puede reproducir o *duplicar* cuando una célula se divide, para pasar a las células hijas sin alteración.

Las reglas para la duplicación del DNA y la transmisión de las características hereditarias de unos organismos o células a su descendencia, son muy sencillas. El DNA está formado por una cadena doble de nucleótidos, como se muestra en la figura I.10. Los nucleótidos se distinguen unos de otros por las "bases" que los componen, que suelen ser *adenina*, *guanina*, *citocina* y *timina*, y siempre, frente a una timina hay una adenina, y frente a una guanina una citosina. Esta estructura es también la base en la duplicación de DNA. Cuando ésta ocurre, la doble cadena se separa y se forman dos cadenas dobles idénticas, que van a las células hijas durante la división celular.

De una manera similar, la información contenida en el DNA se transmite o se lleva al citoplasma para ser utilizada, mediante la síntesis del RNA mensajero (mRNA). Ésta es la *transcripción*, y se realiza a partir de uno de los hilos del DNA siguiendo una regla: frente a un nucleótido de adenina, guanina, citosina o timina del DNA, se coloca uno que contenga uracilo, citosina, guanina o adenina, respectivamente. Luego el mRNA pasa al citoplasma en donde, mediante procedimientos especiales, la información transcrita en el RNA se convierte en un acomodo de aminoácidos específicos en forma de cadenas, que constituyen las proteínas. Estas, finalmente, son las verdaderas piezas de la maquinaria celular, pues son enzimas, transportadores, moléculas contráctiles, receptores de señales, etcétera.

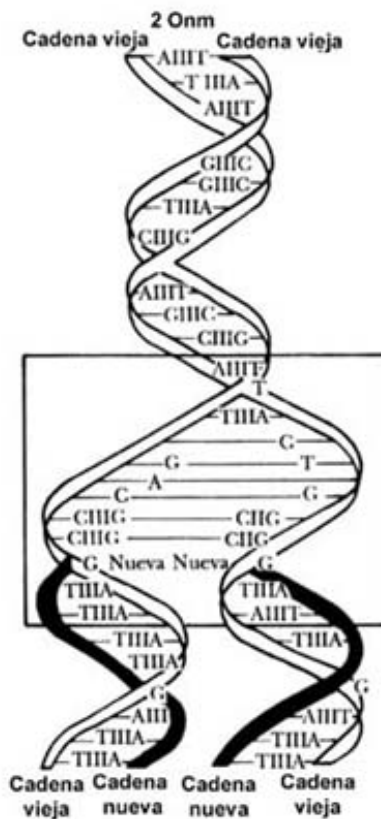


Figura I.10. La regla para la duplicación del DNA. Siempre que se fabrica una nueva molécula, frente a una adenina se coloca una timina, y frente a una guanina una citosina, y viceversa. Para enviar la información al citoplasma, se utilizan moléculas de RNA (ácido ribonucleico) que se fabrica mediante una regla semejante.

OTROS COMPONENTES DE LAS CÉLULAS

En los seres vivos hay una cantidad muy grande de agua, que les es indispensable para vivir; pero también existe una importante proporción de sales minerales, desde algunas que intervienen con relativa abundancia —como el sodio y el cloro, que ingerimos en la sal común, el potasio, el calcio o el fosfato, estos dos últimos de fundamental importancia en la composición de los huesos y otras funciones— hasta otras que participan en muy pequeñas cantidades, como el cobalto, el yodo y otros elementos.

LAS ASOCIACIONES DE LAS MOLÉCULAS

La diversa naturaleza de las moléculas es sólo una fase de la organización celular. Las células, los tejidos, los órganos, sistemas y los organismos mismos, resultan de la asociación organizada de las moléculas, que de maneras diferentes se reúnen y forman tipos de estructuras más complicadas, desde asociaciones relativamente sencillas de unas moléculas con otras, como sucede en el caso de las membranas biológicas, que cuentan con una estructura básica dada tan sólo por la asociación de los fosfolípidos. El siguiente nivel de asociación es el de moléculas más grandes, como las proteínas o los ácidos nucleicos, que se pueden unir para formar los llamados complejos supramacromoleculares, dentro de los cuales tal vez los más conocidos sean los virus. Finalmente, hay niveles de organización extraordinarios, resultado de la asociación de enormes cantidades de moléculas, verdaderas obras de arte de la naturaleza, con complicadísimos mecanismos de funcionamiento y estructura; éstos son los llamados *organelos celulares*.

LAS MEMBRANAS CELULARES

Los lípidos, o más concretamente, los fosfolípidos (figuras I.4 y I.5), son moléculas anfifílicas, es decir, están formadas por dos porciones diferentes en lo que respecta a sus posibilidades de interacción con el agua; según las reglas ya descritas en este mismo capítulo se asocian para formar una doble capa, estructura básica de las membranas celulares. Estas estructuras son los principales componentes de lo que se podría considerar la parte fundamental de las membranas biológicas. Esta estructura hidrofóbica en la parte central no permite, por lo tanto, el paso de moléculas polares, como los iones, ni de moléculas de mayor tamaño y es impermeable, salvo a partículas muy pequeñas, como el agua.

Así, las células también se encuentran envueltas por una membrana que en principio es impermeable a la mayoría de las sustancias que se encuentran en la naturaleza, sobre todo a aquellas solubles en agua, las polares. Experimentalmente se pueden preparar vesículas artificiales microscópicas de fosfolípidos y demostrar que son impermeables a todas las moléculas con carga eléctrica.

Aunque la estructura básica de las membranas es la que se presenta en la figura I.4, existe gran variedad, pues las diversas moléculas les dan otras propiedades, de acuerdo con su origen particular. En la figura I.11 se presenta un modelo más cercano a la realidad, donde se muestran moléculas de proteínas que se encargan de transportar materiales en un sentido o en otro. Los componentes de la cadena mitocondrial y de los sistemas de transformación de energía, los receptores de señales, son algunos de los tipos de proteínas que dan a las membranas celulares sus características funcionales.

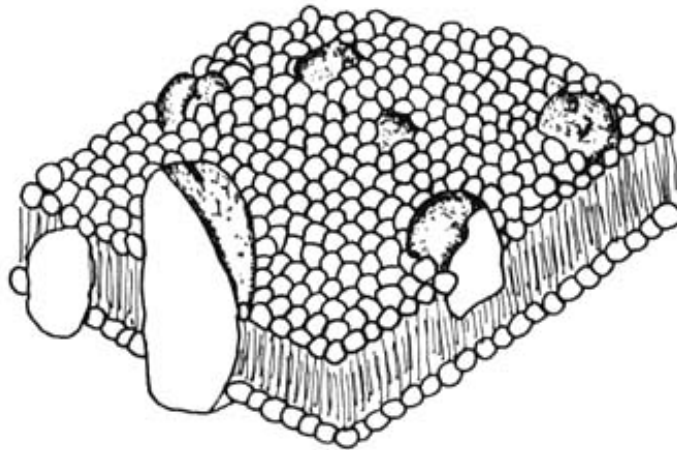


Figura I.11. La estructura "real" de una membrana biológica. En el esquema se muestran muchas proteínas incluidas dentro de la bicapa, que son las que le dan su capacidad funcional a la membrana.

De aquí resulta que las membranas celulares no son sólo estructuras impermeables que sirven para aislar a las células o a algunos de sus organelos del medio que los rodea, sino *asociaciones* de muchas más moléculas. Se trata de estructuras dinámicas y de extraordinaria importancia, que más que separar dos espacios establecen comunicaciones convenientes entre ellos. La membrana celular debe contar, por ejemplo, con todos los elementos para seleccionar del medio lo necesario, y también para eliminar lo que es inútil o perjudicial a las células. El movimiento de sustancias hacia ambos lados de una membrana celular puede llegar a ser tan importante, como en los axones de las células nerviosas, en las cuales su capacidad de conducción de los impulsos nerviosos se debe a un sistema ordenado y propagado de movimientos de iones a lo largo de sus prolongaciones. Por otra parte, las membranas representan un elemento que permite delimitar a los organelos celulares, que son verdaderas unidades con características estructurales y funcionales definidas. En muchos de ellos la membrana constituye el componente fundamental en la cual se realizan físicamente muchas de las funciones, como se verá posteriormente para la mitocondria y el cloroplasto.

LOS COMPLEJOS SUPRAMACROMOLECULARES

Aun con lo delicada que es la estructura y la función de una proteína, hay todavía la posibilidad de que alguna esté formada por más de una cadena de aminoácidos, lo cual aumenta la complejidad dentro de esa molécula que de cualquier forma ha sido diseñada para realizar una determinada función.

Pero la existencia de más de una cadena polipeptídica no es el límite en la estructuración de las proteínas. Hay muchos casos en los cuales se ha descrito la formación de estructuras (o superestructuras) en las que participan varias proteínas, unidas con más o menos fuerza y cada una de ellas realiza una función que tiene relación con otra, de tal manera que la asociación da lugar a unidades que podríamos llamar multifuncionales. Después vendría el complejo supramacromolecular, en donde una proteína ya es una macromolécula, en comparación con otras, como las de glucosa o un ácido graso. Estas moléculas tienen masa de 200 a 300 Daltones, mientras que la masa de una proteína de tamaño promedio es de 50 000 o 60 000 Daltones. A estos complejos de varias moléculas se les llama también complejos multienzimáticos, pues cada molécula tiene capacidad de realizar una reacción química o enzimática. En la figura I.12 se muestra un ejemplo esquematizado de uno de ellos, en donde la participación de varias enzimas asociadas cataliza la síntesis o producción de los ácidos grasos, en un proceso que, por cada "vuelta", agrega dos átomos de carbono a la molécula de la que se parte.

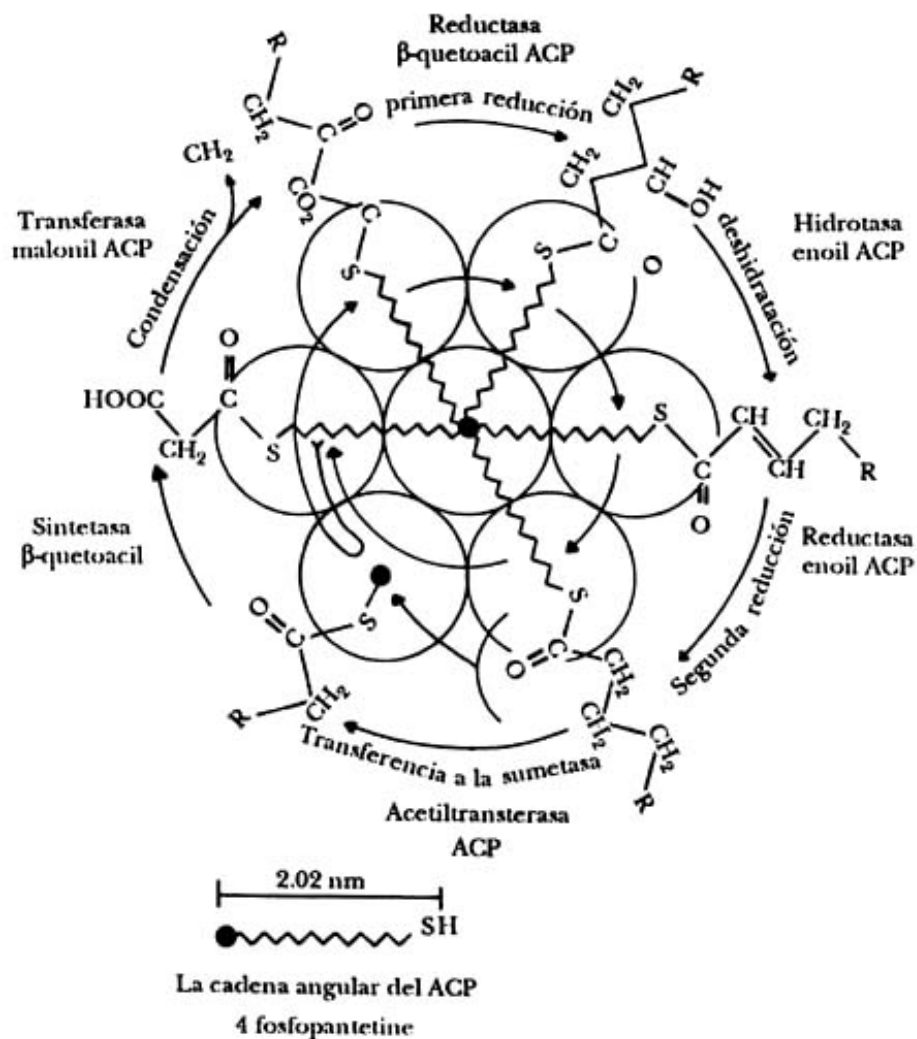


Figura I.12. Un complejo multienzimático. La agregación de varias enzimas dentro de un complejo supramacromolecular ofrece a éste la capacidad de realizar una función complicada en un espacio relativamente pequeño.

Así como se pueden formar complejos de dos o más proteínas, para realizar una función o una serie complicada

de funciones existe la posibilidad de formar complejos híbridos entre diferentes tipos de moléculas. Tal vez el caso más conocido y común en las células sea el de los *ribosomas*, estructuras supramacromoleculares formadas por proteínas y RNA, que reúnen todos los elementos que se requieren para realizar la síntesis de las proteínas. La estructura de los ribosomas varía según su origen y su tamaño, pero todos están formados por una unidad grande y una pequeña (figura I.13) que en conjunto se encarga de "leer" el mensaje que, a partir de DNA, es transmitido por el RNA "mensajero" al citoplasma de la célula, en el cual se encuentran los ribosomas.

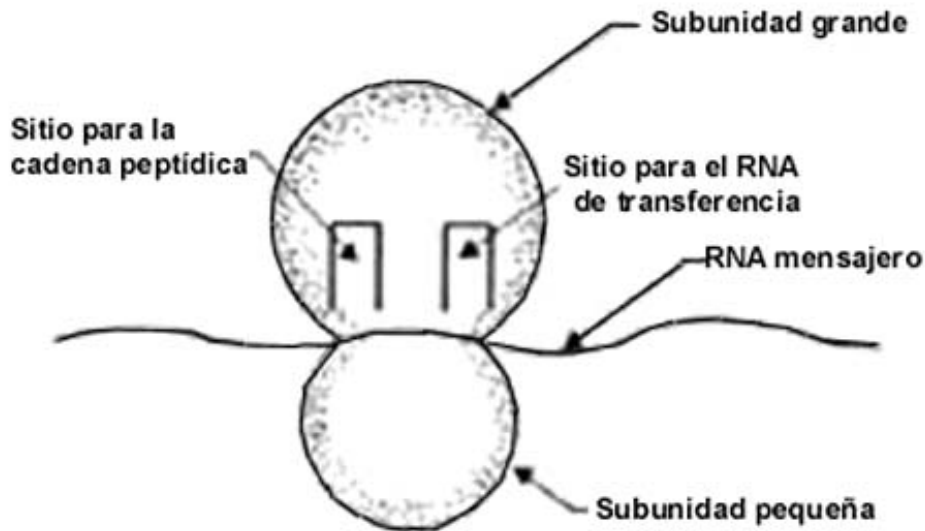


Figura I.13. Un ribosoma, complejo sistema supramacromolecular, asiento de la síntesis de las proteínas en la célula.

En la subunidad grande se encuentra otro tipo de RNA, llamado de "transferencia", que ya trae unido un aminoácido específico que se ha de agregar a la cadena de aminoácidos que se está sintetizando. Entre ambas subunidades hay un surco por el cual se desliza la molécula de RNA mensajero a medida que se va leyendo, y por un lado de la subunidad grande sale la cadena de aminoácidos (cadena polipeptídica) que se va formando. Este asombroso conjunto, en el caso de la *Escherichia coli*, el colibacilo o bacteria común del intestino, está formado por un conjunto de moléculas que en total tienen un peso molecular de 2.7 millones de Daltones. Además del RNA, la subunidad grande contiene 34 proteínas diferentes y la pequeña 21. Una de las características importantes de estas estructuras consiste en que se les puede disociar en sus componentes y volver a integrar a partir de ellos, si se utilizan condiciones adecuadas.

LOS VIRUS

Hay otro grupo de complejos de naturaleza semejante, es decir, formados por la asociación de proteínas y ácidos nucleicos, según un orden preciso, que tiene gran importancia dentro de los seres vivos; se trata de los *virus*. Estas estructuras realmente no son seres vivos, pero tienen la capacidad de invadir a las células u organismos unicelulares y, una vez en su interior, reproducirse gracias a los sistemas que para ello existen en la célula invadida; sin embargo, por sí solos son incapaces de realizar ninguna función.

Los virus pueden dirigir la maquinaria genética de las células que invaden, y replicar sus proteínas y ácidos nucleicos para producir nuevos virus. Interactúan primero con la superficie de una célula y se introducen, o introducen sus ácidos nucleicos, y con lo cual fuerzan al sistema normal de síntesis de proteínas y ácidos nucleicos de las células a producir los componentes de ellos mismos, que dan lugar luego a nuevas partículas virales. En ciertas ocasiones, los virus producen alteraciones tan fuertes tanto en la estructura como en el

funcionamiento de la célula, que llegan a causarle la muerte.

En el cuadro I.1 se presentan las características de algunos virus; todos están compuestos de proteínas y ácidos nucleicos y son partículas de tamaño grande, con pesos moleculares de varios millones. Como se ve en el cuadro, hay virus bacteriófagos, capaces de infectar a las bacterias, que han sido de gran utilidad en el estudio de la biología molecular. Los virus de las plantas contienen RNA en lugar de DNA; la cantidad y la diversidad de las proteínas son también grandes; el virus del mosaico del tabaco contiene sólo una especie de proteínas; el bacteriófago T2 contiene 50 especies diferentes.

La forma y las dimensiones de los virus son también variables, pero todos tienen una estructura geométrica definida.

La importancia de los virus puede inferirse del cuadro I.1, dos de ellos, el de la poliomielitis y el de la vacuna son ampliamente conocidos; el primero por la enfermedad que produce, y el segundo porque da lugar a la producción de anticuerpos o defensas que protegen en forma cruzada contra el virus de la viruela. Los adenovirus también son importantes: algunos producen tumores en los animales, y es por esto y por otros datos que se asegura que algunos tumores del hombre son producidos por virus. Es importante señalar que algunos virus, como los bacteriófagos, son capaces de atacar y matar ciertas bacterias.

CUADRO I.1. Características de algunos virus. Además del ácido nucleico, cada uno de ellos tiene distintas proteínas, según su tamaño.

	<i>Peso molecular, megadaltones</i>	<i>Ácido nucleico</i>	<i>Dimensiones nanómetros</i>
Bacteriófagos			
T2	220	DNA	18
X174	6	DNA	6
Virus vegetales			
Mosaico del tabaco	40	RNA	300
Necrosis del tabaco	2	RNA	21
Virus animales			
Poliomelitis	6.7	RNA	30
Adenovirus	200	DNA	70
Vacuna	2 000	DNA	230

LOS ORGANELOS CELULARES

En la figura I.14 se presenta el esquema de una célula, rodeado de las imágenes de los principales componentes identificables por microscopía electrónica. Desde el siglo pasado se iniciaron los estudios de las propiedades del contenido de las células. Se propuso que dentro de ellas existía una sustancia de propiedades comunes para todas, e incluso se iniciaron polémicas para definir las; se decía que el citoplasma tenía estructura alveolar o granular o fibrilar, y se aseguraba que sus propiedades eran especiales por tratarse de la sustancia vital por excelencia. Las

observaciones con el microscopio electrónico de la figura I.14 muestran cuán equivocadas estaban estas suposiciones, y presentan el número de elementos que se puede identificar dentro de la célula; también demuestran que no se pueden identificar las mismas estructuras en todas las células, y que tampoco se les encuentra con la misma abundancia.

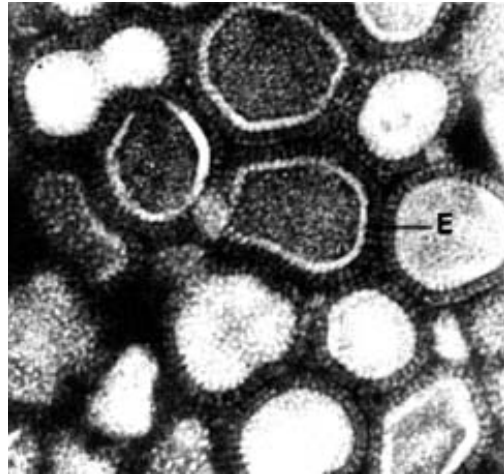


Figura I.14. Un virus, otro complejo supramacromolecular.

En el capítulo III se describirá con detalle la estructura y la función de cada uno de los organelos que se han identificado, cuyo funcionamiento es verdaderamente asombroso y en gran parte aún desconocido para nosotros, pero gracias a la investigación de miles de científicos en el mundo, cada día sabemos más al respecto.

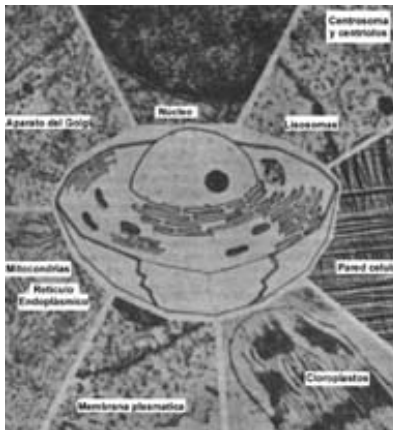
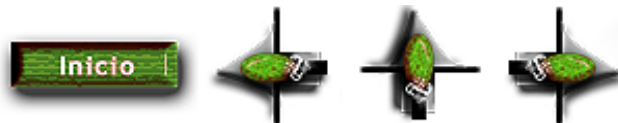


Figura I.15. Esquema de la estructura de una célula y sus organelos.



II. EL METABOLISMO , O LAS TRANSFORMACIONES DE LAS MOLÉCULAS EN LAS CÉLULAS

EL METABOLISMO no es otra cosa que la enorme serie de cambios que sufren las moléculas para convertirse unas en otras y en otras y en otras, de manera complicada, al parecer interminable y que, desde luego, estamos muy lejos de conocer en su totalidad. Son tantas las sustancias que componen a un organismo que una gran proporción de ellas se desconoce, como sucede aun en el caso de los organismos unicelulares. Pero a pesar de que el proceso total es tan complicado, es posible definir algunos de sus componentes, y aun quienes no tenemos un conocimiento profundo de la bioquímica y la fisiología podemos tener una idea aproximada de cómo es y para qué sirve.

EL METABOLISMO PROPORCIONA MATERIALES Y ENERGÍA

Todas las transformaciones de las moléculas tienen dos funciones principales: la primera, proporcionar a la células, tejidos, órganos, etc., materiales que requieran para sus distintas funciones, siendo la más importante la renovación constante de sus propias moléculas; la segunda, obtener diferentes formas de energía para mantener las funciones vitales. Así, plantas y algas reciben como "alimento" materiales muy sencillos, como sales minerales, CO_2 y H_2O , pero su energía la obtienen del Sol, y con ella satisfacen sus necesidades para funcionar y fabricar sus materiales. Pero las plantas también proporcionan al hombre materiales y la energía que contienen sus enlaces, con lo cual lo ayudan a sobrevivir.

El metabolismo celular puede considerarse como una serie de caminos de ida y vuelta, formados por una gran cantidad de moléculas que se transforman constantemente. Estos caminos reciben a las que llegan al organismo o a la célula del exterior, pero además tienen sus propias moléculas.

CÓMO TOMAMOS LOS MATERIALES DEL EXTERIOR

Ya mencionamos que las plantas y la mayoría de las algas toman materiales muy sencillos del exterior y que sólo requieren de sistemas para transportarlos al interior de las células.

Los animales, el hombre incluido, recibimos pocas moléculas sencillas y una gran cantidad de macromoléculas, como almidones, proteínas o grasas. Estas son sometidas al proceso de la digestión para hidrolizarlas o partirlas en sus componentes (ver capítulo I), antes de ser absorbidas en el intestino y de entrar propiamente al organismo. Así, lo que ingresa a la sangre para ser tomado por las células son las moléculas simples: los aminoácidos, los ácidos grasos, el glicerol (glicerina) y la glucosa. A partir de estas moléculas podemos analizar las transformaciones de los diferentes tipos de sustancias que reciben las células. Cuando toman sustancias del exterior, la mayoría de los organismos unicelulares cuentan con enzimas que degradan las moléculas más grandes y toman luego los productos de ese proceso. Algunos organismos unicelulares, o células animales especializadas, como las amibas o los leucocitos, pueden tomar del exterior moléculas grandes, o inclusive partículas y otros materiales, pero los digieren antes de utilizarlos.

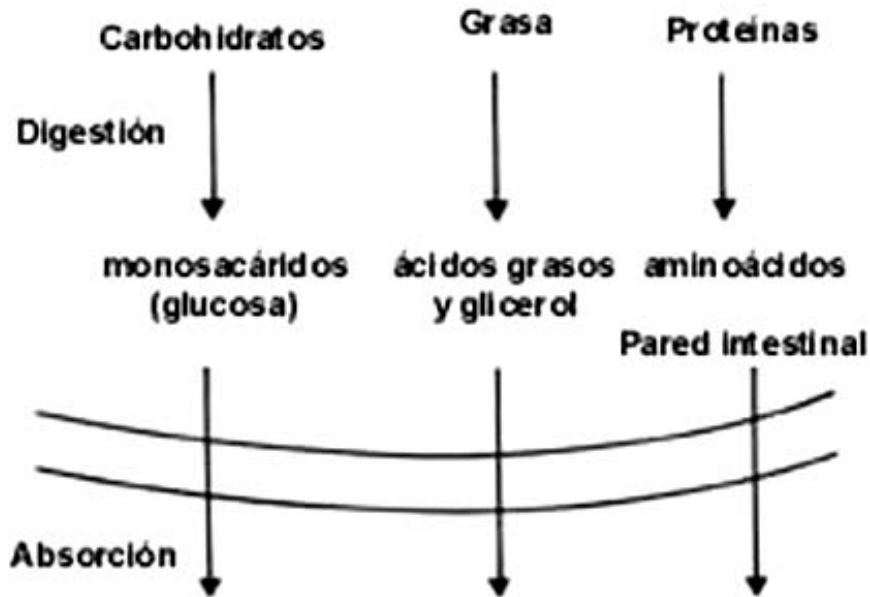


Figura II.1. Digestión y absorción.

ANABOLISMO Y CATABOLISMO (CONSTRUCCIÓN Y DESTRUCCIÓN DE MOLÉCULAS)

Una vez que las células y los organismos reciben esas moléculas sencillas, uno de los caminos que éstas pueden seguir es la síntesis de las llamadas macromoléculas (de *macros*, grande), como el almidón en las plantas o el glucógeno en los animales, que se forman de la unión de miles de moléculas de glucosa y en donde se almacenan azúcares. Por este proceso de síntesis se forman también las grasas y otros tipos de lípidos, como los fosfolípidos, que constituyen las membranas celulares, o las grasas neutras (mantecas o aceites), que en los animales se acumulan en el tejido adiposo, y en las plantas en algunas semillas.

En algunos animales, incluyendo al hombre, las grasas pueden ser un enorme almacén de reserva alimenticia. También por una síntesis se forman las moléculas de las diferentes proteínas, pero ni éstas ni los aminoácidos se pueden almacenar. Sin embargo, hay una perenne renovación en las células, en donde constantemente se necesitan aminoácidos para producir moléculas nuevas y degradar las existentes.

La figura II.2, además de mostrar un esquema de la posibilidad de que las moléculas unitarias sean utilizadas para producir otras más grandes, señala también que todas ellas se pueden degradar hasta producir CO_2 , H_2O y, en el caso de los aminoácidos, amoníaco (NH_3). Distinguimos así con claridad dos procesos. En uno de ellos, el anabolismo, a partir de moléculas pequeñas se obtienen otras más grandes; en el otro, el *catabolismo* a partir de moléculas grandes se obtienen otras más pequeñas.

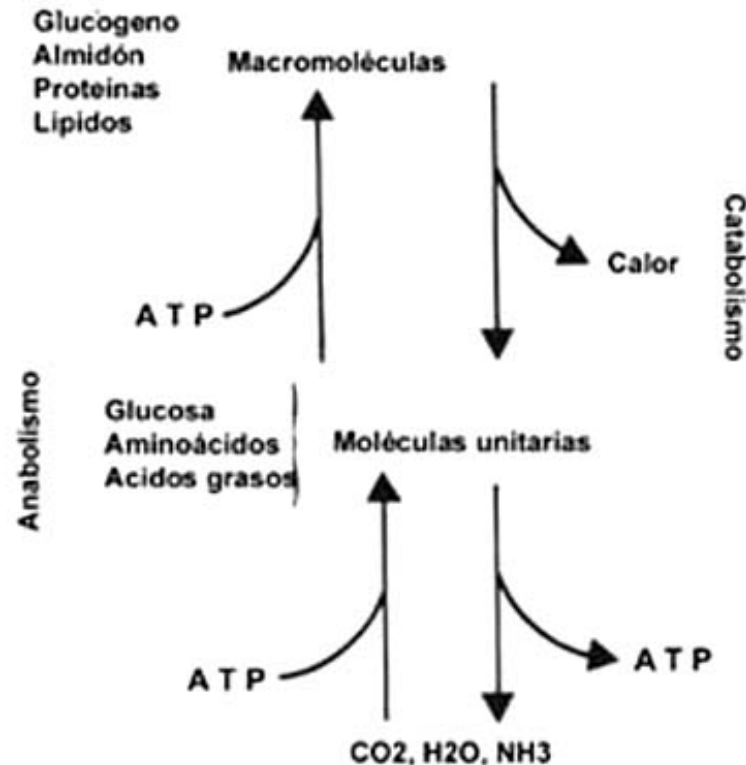


Figura II.2. Esquema del metabolismo y sus componentes, el anabolismo y el catabolismo. Hay unidades para las grasas, los azúcares y las proteínas, que pueden formar macromoléculas, o degradarse hasta CO₂, H₂O y NH₃, principalmente. Además, durante el catabolismo una parte de la energía de los enlaces de las moléculas se transforma en calor, y otra en diversas manifestaciones, como los enlaces del ATP (ver el capítulo III), o los aceptores de hidrógenos..

METABOLISMO, ENERGÍA Y VIDA

Otra característica importante del proceso metabólico es que en el catabolismo de las moléculas pequeñas, como la glucosa, los ácidos grasos o los aminoácidos, se logra transformar la energía de sus enlaces químicos en la energía de los enlaces del ATP y otras sustancias, que proporcionan en forma directa la energía que requieren las células para todas sus funciones. Además, los procesos de síntesis, tanto de moléculas sencillas como de macromoléculas, requieren energía, la cual proviene del ATP y del llamado poder reductor que tienen las moléculas llamadas NADH y NADPH, entre otras. Es interesante señalar que la degradación que sufren las macromoléculas para producir las unidades que las componen hace que se transforme en calor toda la energía de sus enlaces.

Pero también en la degradación de las moléculas para producir otras más sencillas, o para sintetizar ATP, hay una liberación de calor.

LAS VÍAS METABÓLICAS Y LAS ENZIMAS

Otra característica del metabolismo es que cada una de sus transformaciones está movida casi invariablemente por una enzima diferente. Las enzimas son proteínas, las moléculas más complicadas de la célula, que se encargan de catalizar (es decir, de acelerar) las reacciones individuales del metabolismo. Aunque las reacciones químicas de muchos pasos metabólicos pueden ocurrir en forma espontánea, prácticamente todas ellas transcurrirían con una enorme lentitud si no existieran las enzimas. Éstas aceleran mucho (habitualmente mucho más de un millón de veces) las reacciones individuales del metabolismo. Casi cada reacción requiere de una enzima diferente para moverse con suficiente velocidad. Pero así como las enzimas son capaces de acelerar las reacciones químicas de los seres vivos, muchas pueden ser reguladas por muy diversas sustancias. Muchas ocasiones son las responsables

de que, en un paso del metabolismo, toda una vía se mueva con mayor o menor velocidad.

La figura II.3 es un esquema del funcionamiento de una enzima, que es una proteína grande, la cual promueve la transformación de una o más moléculas, que reciben el nombre de *sustrato*, en otra u otras, llamadas *productos*. En ocasiones también participan moléculas con funciones definidas, llamadas *coenzimas*

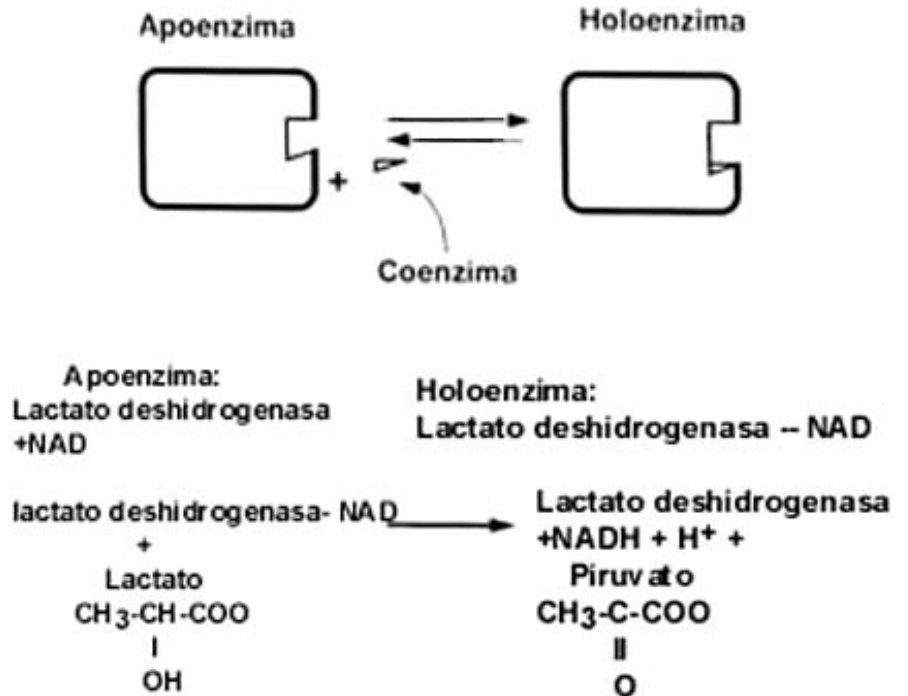


Figura II.3. Los componentes de un sistema enzimático: la enzima, el o los sustratos y el o los productos.

LAS COENZIMAS, LAS VITAMINAS Y EL METABOLISMO

En algunas reacciones del metabolismo, además de las enzimas toman parte, en pequeña cantidad, otras moléculas llamadas coenzimas, en cuya composición, en muchos casos intervienen las vitaminas. A continuación señalaremos algunas de ellas:

Nicotinamida. La componen dos coenzimas, el nicotín adenín dinucleótido (NAD) y el nicotín adenín dinucleótido fosfato (NADP); su estructura y funciones se describen en el capítulo III. Es la que porta los hidrógenos y sus electrones en muchas reacciones de oxidación, y se utiliza para la síntesis de algunas moléculas o en las transformaciones de energía en ATP. La deficiencia de esta vitamina produce la enfermedad llamada pelagra.

Riboflavina. Esta vitamina es componente de dos coenzimas relacionadas también con el transporte de los electrones en la cadena respiratoria: el flavín adenín mononucleótido y el flavín adenín dinucleótido. También participa en la cadena que transporta hidrógenos y electrones.

Ácido pantoténico. Es parte de la llamada coenzima A, que se muestra más adelante. Participa en el metabolismo de los ácidos grasos, pero muy especialmente en el de los fragmentos de dos átomos de carbono, que constituye la acetil coenzima A.

Tiamina. Esta vitamina participa en reacciones en las que algunos ácidos pierden su carboxilo (grupo -COOH).

Las enzimas encargadas del proceso se llaman descarboxilasas.

Piridoxina. Participa en las reacciones de transferencia de grupos amínicos de los aminoácidos, como coenzima de diversas transaminasas, y en otras reacciones.

Éstos son sólo algunos ejemplos de la acción de las vitaminas en el metabolismo, como parte de las enzimas, en las llamadas coenzimas. Estas sustancias son en realidad una especie de segundo sustrato, o componente del sistema enzimático, que participa en la reacción. En las reacciones de deshidrogenación, por ejemplo, las coenzimas reciben electrones de un sustrato y los transfieren a otro, con la participación de otra enzima. En muchos de estos casos, las coenzimas son otro sustrato que también se modifica durante la reacción, pero tienen la característica de ser utilizadas en muchas reacciones diferentes. Al NAD, por ejemplo, lo encontraremos en la glucólisis, en el ciclo de Krebs y en reacciones de deshidrogenación de distintos tipos.

LAS PRINCIPALES TRANSFORMACIONES DE LOS AZÚCARES

Como ya se describió antes, los organismos tienen diferentes tipos de carbohidratos: monosacáridos, disacáridos, moléculas que se llaman oligosacáridos y polisacáridos, cuyo grado de agregación o polimerización depende de los diferentes monosacáridos. Sin duda, el eje del metabolismo celular es la glucosa; este monosacárido está distribuido en todos los organismos, ya sea en forma libre, como parte de otras moléculas, como los disacáridos sacarosa y lactosa, o en polisacáridos de reserva, como el almidón, el glucógeno o la celulosa, o en productos derivados, algunos de los cuales se mencionaron en el capítulo I.

Los almacenes de azúcar. Cuando la glucosa entra a una célula puede tomar el camino hacia la síntesis de polímeros. La figura II.4 muestra cómo en las células animales este azúcar, a través de varios pasos, se puede incorporar a una molécula ya existente de glucógeno. En las células vegetales, uno de los destinos de la molécula de glucosa es convertirse, por un mecanismo semejante, en almidón. Tanto el glucógeno como el almidón y otros polímeros de los azúcares forman sistemas de reserva en los organismos. Por lo tanto, también hay vías para la degradación de estas sustancias. La misma figura II.4 muestra también que la conversión de la glucosa en glucógeno es un camino reversible. De hecho, cuando comemos se sintetiza el glucógeno para guardar los azúcares que hemos ingerido. Luego, este polímero se va degradando lentamente entre una comida y otra y mantiene el nivel de glucosa de nuestra sangre, pues muchos tejidos requieren azúcar en forma constante. En los animales el glucógeno sirve para almacenar azúcar, la cual se gasta entre una comida y otra; en las plantas el almidón se almacena en las estructuras que aseguran su reproducción, como las semillas de los cereales, o en los tubérculos, como las papas.

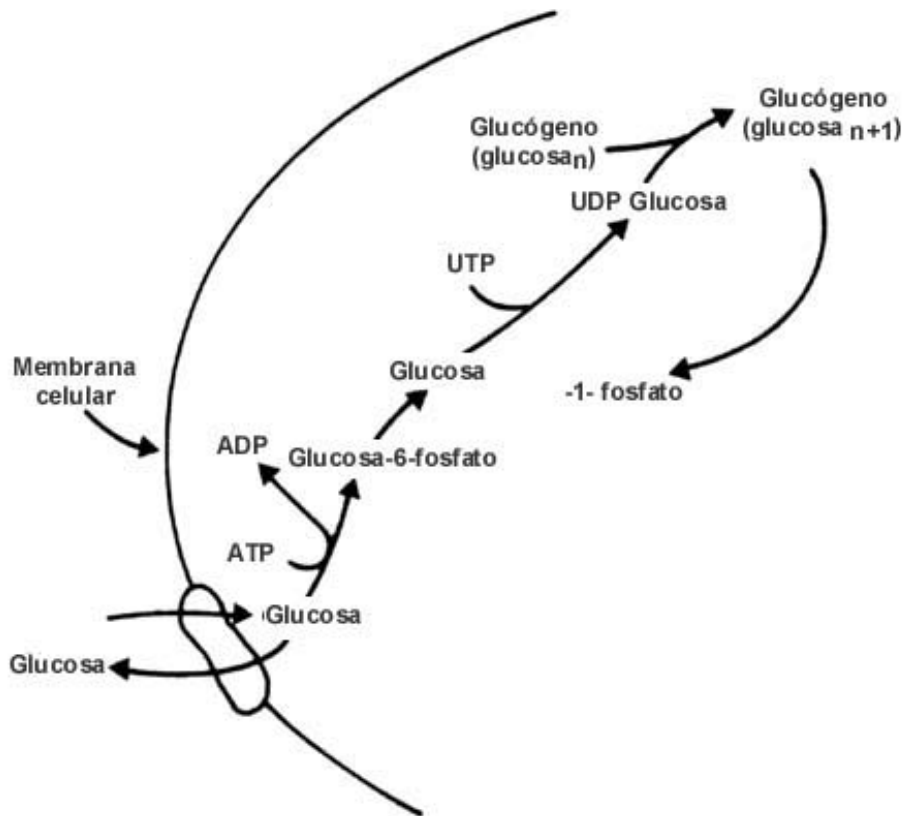


Figura II.4. El almacenamiento de la glucosa. En los animales se polimeriza para fabricar glucógeno, que es la principal manera de almacenamiento; en los vegetales crea almidón. Ambas formas pueden luego degradarse para dar de nuevo glucosa, la cual aprovechan los seres vivos.

El otro camino que puede seguir la glucosa es su degradación. Para ilustrar este caso pensemos en una célula animal, la muscular, por ejemplo. La figura II.5 muestra las transformaciones que este azúcar sufre al convertirse en piruvato (la sal del ácido pirúvico), o el lactato (la sal del ácido láctico). Las fórmulas químicas están sólo como referencia.

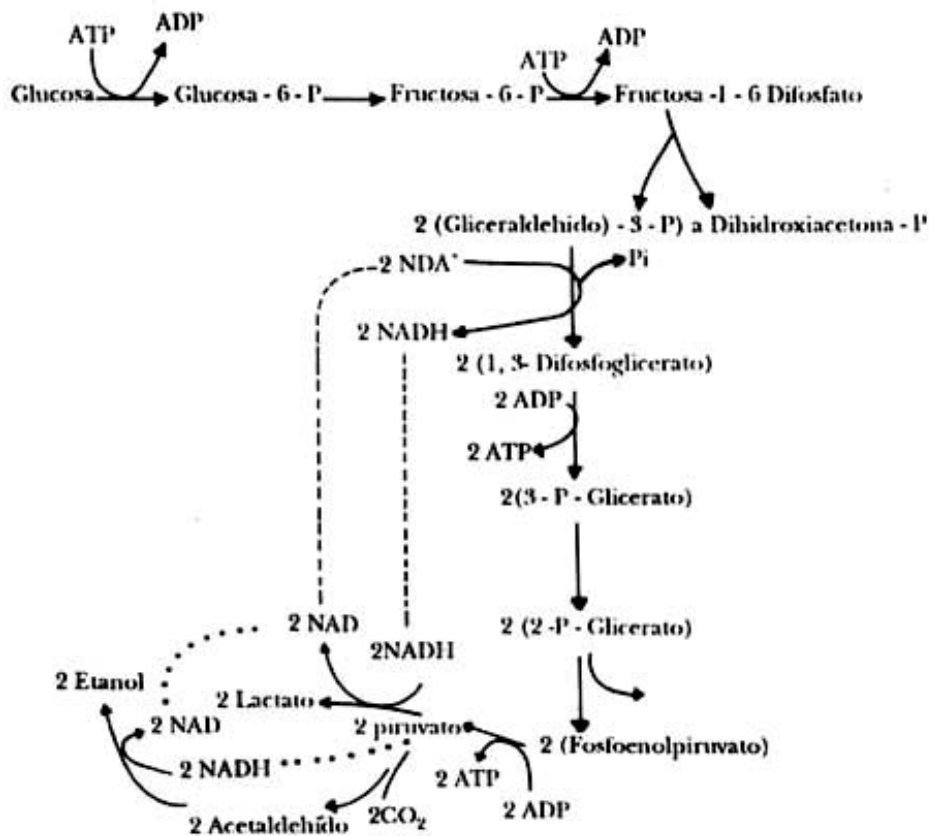
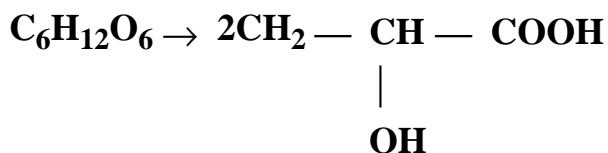


Figura II.5. Esquema general de la glucólisis

El esquema completo se presenta para mostrar la complejidad del sistema, aunque no está representado con todo detalle. A continuación destaco algunos puntos importantes que se dan cuando una célula degrada una molécula de glucosa:

A) Al degradar la glucosa para convertirla en lactato o piruvato sólo implica partir a la molécula, de seis átomos de carbono, en dos de tres. No obstante lo complicado que pueda parecer la vía metabólica, la transformación final es relativamente simple.



B) En este proceso, aunque al principio se invierten dos moléculas de ATP, después entran dos de fosfato (P) y cuatro más de ADP, para dar cuatro de ATP. El resultado neto es que al partir una molécula de glucosa en dos de lactato, se generan en forma neta dos moléculas de ATP a partir de dos de fosfato y dos de ADP.

C) Aunque la cantidad de ATP que resulta de cada molécula de glucosa es muy pequeña, esta vía puede ser extremadamente veloz. Durante el ejercicio muscular intenso, de un atleta por ejemplo, proporciona casi toda la energía que se requiere, compensando el rendimiento con la velocidad.

D) Otra cuestión interesante es que la degradación de la glucosa en esta vía se puede continuar por la transformación del piruvato en acetil coenzima A, hacia el llamado ciclo de los ácidos tricarbónicos, o ciclo de Krebs; en él se degrada totalmente hasta dar CO_2 y agua. En este ciclo, por otra parte, al conectarse con la

fosforilación oxidativa, que se mencionará al hablar de las mitocondrias, se produce la mayor parte del ATP sintetizado. Por esta última razón la glucólisis es considerada también la vía de entrada de la glucosa y los azúcares en general a una de las vías catabólicas principales.

E) Finalmente, esta vía es en gran parte reversible; es decir, a partir del piruvato se obtiene glucosa, e incluso el mismo glucógeno y otros polisacáridos. Esto es importante, porque así es como se transforman en azúcares los aminoácidos, que provienen de las proteínas.

LA DEGRADACIÓN DE LAS GRASAS

Como ya se vio en el capítulo I, las grasas neutras están compuestas de glicerol y ácidos grasos. Para degradarse, primero se separan los ácidos grasos de las moléculas. La parte más importante de la degradación de los lípidos consiste en la transformación, paso a paso, de las cadenas largas, de 16 a 18 átomos de carbono las más comunes, en fragmentos de dos átomos de carbono, como acetil CoA.

La coenzima A (figura II.6) es una molécula complicada que sirve como una especie de mango o asa que las enzimas requieren para el manejo de fragmentos de dos átomos de carbono o mayores, para formar la acetil (de acetilo) coenzima A, o el caso que sea. Sin embargo, la única parte que sufre cambios es la porción del ácido graso o el acetilo unido a la coenzima A. En la figura II.7 se presenta el proceso de degradación de un ácido graso con fórmulas químicas como referencia a su complejidad.

Aquí vemos cómo una molécula de un ácido graso, unida a la coenzima A, en varios pasos termina por perder, como acetil CoA, un fragmento de dos átomos de carbono. El proceso tiene las siguientes características:

A. Es un ciclo que se repite; partiendo de un ácido graso de, por ejemplo, 18 átomos de carbono, en la primera vuelta termina en uno de 16, pero en otra da uno de 14 y así sucesivamente, hasta que todo el ácido graso se convierte en fragmentos de acetil CoA, de dos átomos de carbono.

B. El proceso completo se lleva a cabo en la mitocondria.

C. En cada vuelta de este ciclo la célula recoge en dos moléculas especiales, el FAD y el NAD, que se convierten en FADH₂ y NADH, dos pares de hidrógenos, que representan una forma de energía que se utiliza en la cadena respiratoria para sintetizar ATP.

D. Como el proceso degrada todo el ácido graso hasta fragmentos de acetil CoA, con ésta se alimenta el ciclo de los ácidos tricarbónicos, igual que con los derivados del piruvato y de la glucosa, y se oxidan hasta CO₂ y agua; de aquí se obtiene energía en cantidades muy grandes.

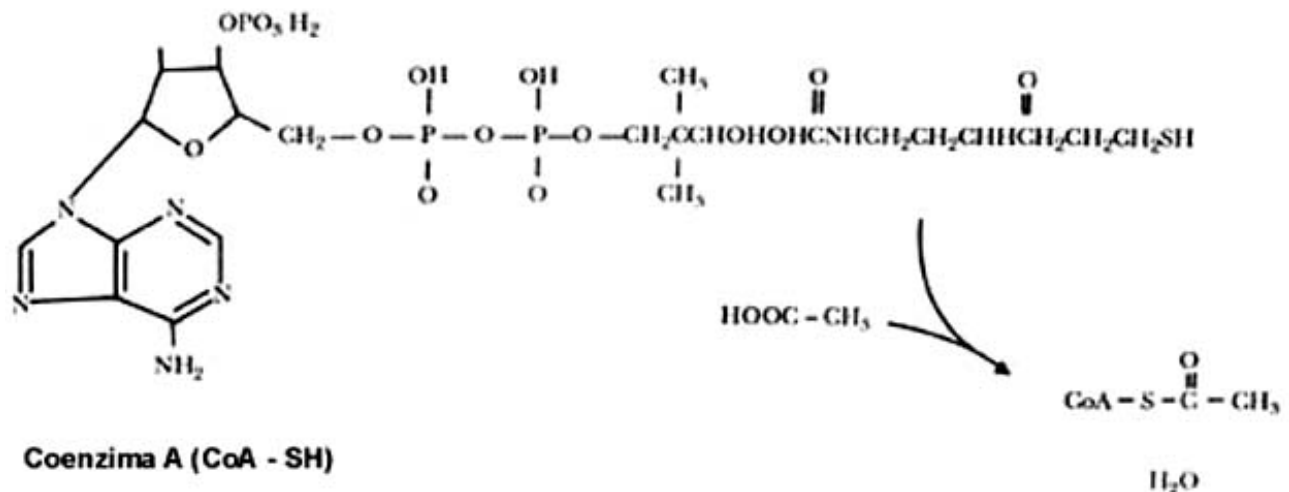


Figura II.6. La coenzima A y la acetil CoA.

E. Como en el caso de la vía anterior, la degradación de las grasas es en cierta forma reversible. Aunque no intervienen las mismas enzimas ni cofactores, el proceso de síntesis de un ácido graso es parecido, pero inverso a la degradación, y en cada vuelta de un ciclo se añade a la molécula original un fragmento de dos átomos de carbono. Esta nueva vía de síntesis es también útil para sintetizar grasas a partir de azúcares o proteínas (figura II.5).

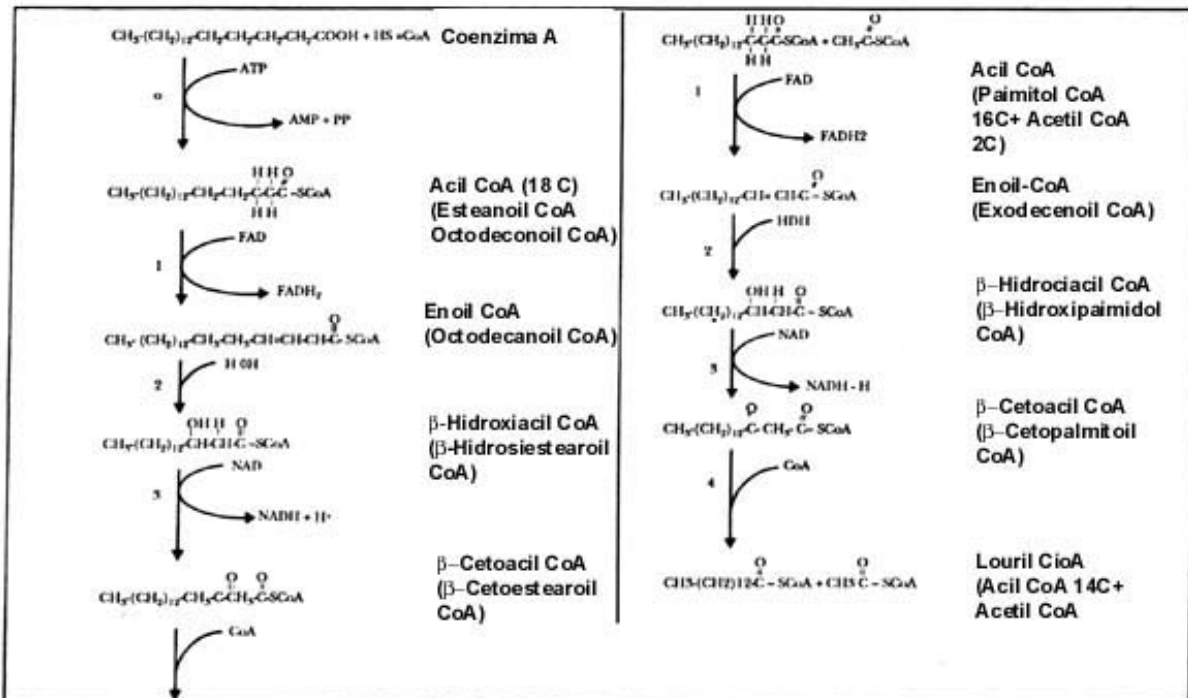


Figura II.7. La beta oxidación.

LAS TRANSFORMACIONES DE LAS PROTEÍNAS

Dado que en el capítulo IV ya se describieron los mecanismos de síntesis de las proteínas, en esta sección sólo mencionaremos los mecanismos de conversión de unos aminoácidos y su degradación. Las proteínas se degradan para dar aminoácidos, y viceversa, pero las transformaciones más interesantes son las de los aminoácidos.

En las células hay cetoácidos y aminoácidos, y mientras los primeros tienen un grupo ceto ($-\text{C}=\text{O}$) en el carbono número 2, los segundos tienen un amino ($-\text{NH}_2$). Como se muestra en la figura II.8, un cetoácido (piruvato) se puede convertir en un aminoácido (alanina), tomando el grupo amínico de un aminoácido (glutámico), que en el proceso se convierte a su vez en cetoácido (cetoglutámico). Este proceso, que recibe el nombre de transaminación, ocurre en muchos otros pares de cetoácidos y aminoácidos y permite el intercambio de unos aminoácidos en otros.

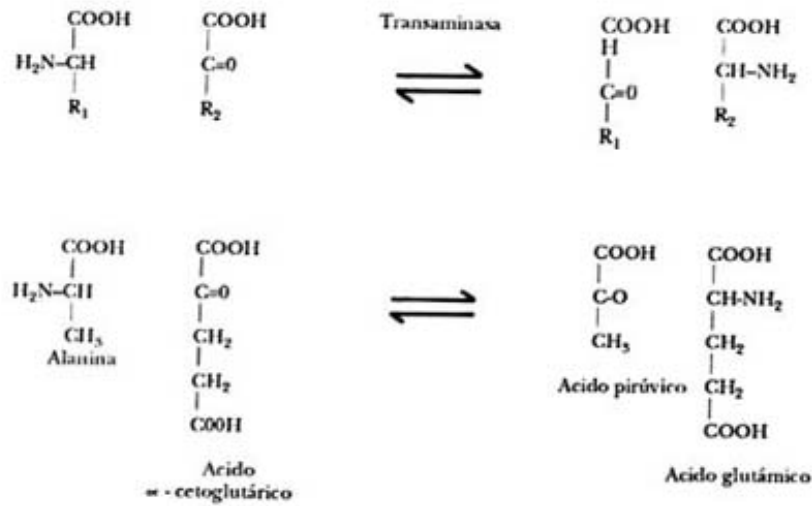


Figura II.8. La transaminación. Un cetoácido recibe el grupo amínico de un aminoácido, y éste a su vez se convierte en cetoácido.

Por otra parte, los aminoácidos pueden perder su grupo amínico por otros procesos, reacción en la cual liberan amoniaco (NH₃) y dan lugar a un cetoácido. Este proceso permite obtener cetoácidos diferentes, como el piruvato, el oxalocetato o el cetoglutarato. El primero es el resultado final de la glucólisis y los otros dos son pasos intermedios del ciclo de Krebs. De aquí resulta que, cuando los aminoácidos pierden su grupo amínico, el residuo se puede incorporar a diferentes caminos metabólicos para su degradación (figura II.9).

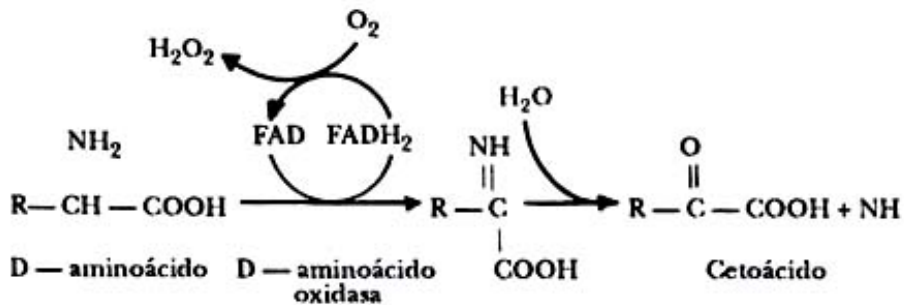
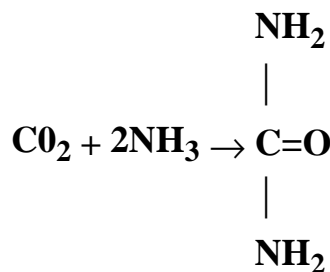


Figura II.9. La desaminación. Los aminoácidos pueden también perder su grupo amínico y convertirse en cetoácidos.

Otro punto importante en el metabolismo de las proteínas es el destino del amonio que pierden al desaminarse. Dependiendo de los organismos, éste se puede eliminar como tal o como diferentes compuestos. En los humanos, una gran parte del amoniaco, que les resulta tóxico, se elimina después de unirlo con CO₂, dando lugar a una molécula inerte, la urea:



Finalmente, también hay enzimas capaces de sintetizar aminoácidos a partir de cetoácidos y amoníaco, como la deshidrogenasa glutámica, que puede aminar al cetoglutarato, o sea, ponerle un grupo amínico en lugar de cetónico, como se muestra en la figura II.10.

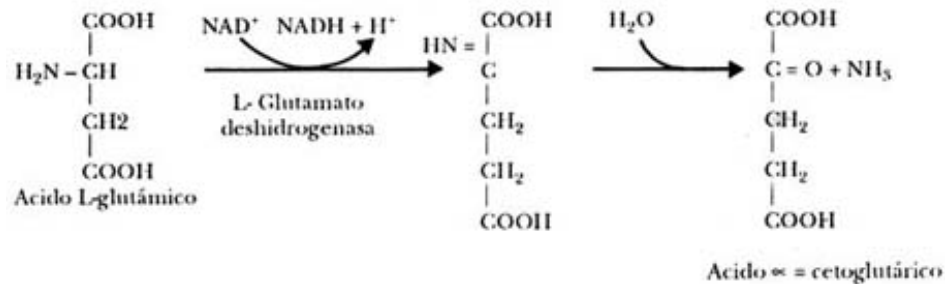


Figura II.10. Conversión del cetoglutarato en glutamato por la deshidrogenasa glutámica.

EL CICLO DE LOS ÁCIDOS TRICARBOXÍLICOS

Ya hemos mencionado que de los principales componentes que obtenemos de los alimentos —azúcares y grasas principalmente, pero también de las proteínas— se pueden obtener moléculas como el piruvato, y a partir de éste la acetil CoA. Ésta, a su vez, puede provenir directamente de las grasas.

En la figura II.11 se muestra otro camino metabólico cíclico, el ciclo de los ácidos tricarboxílicos; pueden alimentarse con acetil CoA y tiene algunas características importantes, que señalamos a continuación:

- Se encuentra localizado en la mitocondria.
- Termina en el mismo producto en que se puede considerar que se inicia, el ácido oxalacético u oxalacetato, que puede unirse otra vez con una molécula de acetato de la acetil CoA.
- En el proceso, los dos átomos de carbono del acetato salen como CO_2 .
- Entre los productos del ciclo se forman cuatro pares de hidrógenos, que pueden ser tomados por la cadena respiratoria para llevarlos al oxígeno y sintetizar ATP.
- Muchos de los intermediarios del ciclo se forman de otras sustancias, como por ejemplo, el cetoglutarato del glutamato, o el oxaloacetato del aspartato. De esta forma se constituye en el mecanismo de conexión de diferentes vías metabólicas. Tal vez la principal función sea la de servir de fuente muy eficiente de pares de hidrógenos, para que, al entregar éstos a la cadena respiratoria se sintetice ATP. De cada par de hidrógenos, la mitocondria puede obtener entre dos y tres moléculas de ATP, de manera que es parte fundamental en los mecanismos de conservación de la energía, que se verán más adelante al hablar de las mitocondrias y los cloroplastos.

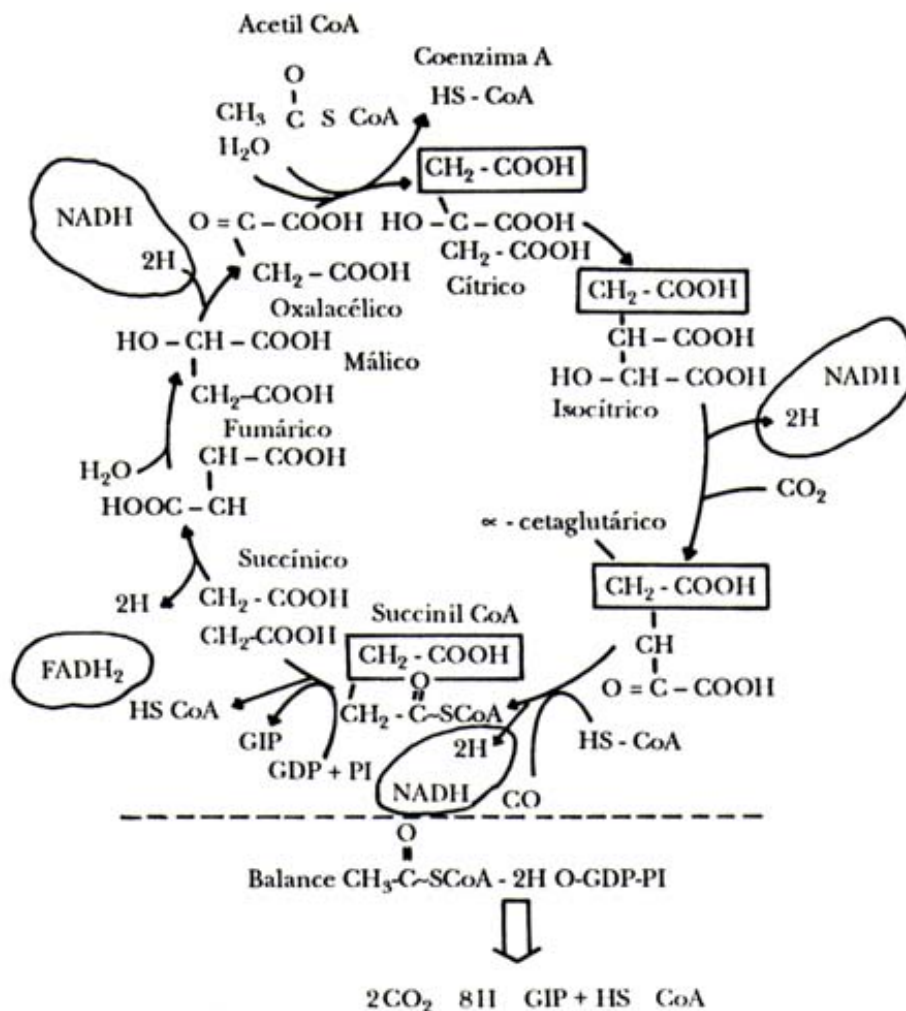


Figura II.11. El ciclo de los ácidos tricarboxílicos. Esta especie de molino metabólico produce hidrógenos, una importante fuente de energía para la síntesis del ATP, que van a la cadena de transporte de electrones de las células, y CO₂, a partir de muchas moléculas que provienen de diferentes partes del metabolismo.

UNAS VÍAS ESTÁN CONECTADAS CON OTRAS

De manera muy sencilla hemos descrito las transformaciones que sufren algunas moléculas, como la glucosa, los ácidos grasos y algunos aminoácidos. Tal pareciera que todas estas sustancias tienen caminos metabólicos definidos que las llevan a tal o cual producto, pasando por tal o cual sustancia intermedia. Pero no es así. Cada molécula o grupo de ellas puede participar en una vía y no necesariamente seguir el camino que hasta ahora hemos señalado. Incluso, en un mismo individuo o especie, al cambiar las condiciones de su vida o alimentación pueden producirse cambios también en el manejo de sus vías metabólicas. Así es como surgen las conexiones entre las vías metabólicas, y a manera de ejemplo señalaremos algunas de ellas.

Un caso sería la conexión entre el metabolismo de las grasas y el de los azúcares. El alimento de una persona se compone en buena parte de carbohidratos (pan, pastas, cereales, leguminosas, etc). En alguien que come lo justo, los azúcares, que le proporcionan la mayor parte de la energía para realizar sus funciones, entran en su mayor parte a las vías que ya señalamos, la glucólisis y el ciclo de los ácidos tricarboxílicos, y se degradan totalmente hasta CO₂ y H₂O, para producir ATP. También los alimentos se consumen o se gastan en función del gasto de ATP. De no ser el caso, disminuye la velocidad con que se utilizan, y se acumulan algunos de los productos, y entonces, aunque hay sistemas reguladores muy especiales, uno de los caminos que quedan a las moléculas sobrantes o acumuladas es la síntesis de ácidos grasos y grasas. Al menos en algunos animales, como los cerdos, e incluso en algunos humanos, la capacidad de acumulación de grasa es enorme, y se realiza por la transformación de azúcares en ellos. Otro ejemplo es la acumulación de las grasas (aceites) en algunas semillas; estos aceites se forman en las plantas de los azúcares sintetizados originalmente en la fotosíntesis.

Otro caso que podemos imaginar es el de un individuo que no consume carbohidratos, como pudiera darse en ciertas dietas; pero, existe un grupo étnico que prácticamente vive de una dieta de proteínas y carbohidratos: los esquimales. En estos individuos, las grasas se oxidan para obtener energía, pero muchos tejidos requieren de glucosa para funcionar. Su organismo resuelve el problema intensificando algunos caminos metabólicos que permiten la transformación de los aminoácidos en glucosa y otros azúcares.

LA REGULACIÓN DEL METABOLISMO

Dado que muchas de las vías, como la glucólisis, tienen como componente al ADP, algunas de sus reacciones no pueden proceder sin éste, o al menos lo hacen más lentamente si se encuentra en cantidades limitadas. Este es el caso, por ejemplo, de un individuo que no hace ejercicio físico; con poco ADP, la glucólisis avanza con lentitud y además, los mecanismos de regulación permiten que la glucosa se convierta en piruvato y acetil CoA, que va finalmente a la síntesis de grasas, único grupo de sustancias que se pueden acumular.

Pero hay también caminos metabólicos que en algunos de sus pasos tienen mecanismos muy variados de regulación. En muchas ocasiones, las enzimas, encargadas de alguno de los pasos del metabolismo, son susceptibles de modificar su función, debido a moléculas que en ocasiones están cerca en los esquemas metabólicos; pero otras veces sucede que pueden ser inhibidas o estimuladas por moléculas lejanas o ajenas a la propia vía regulada.

Hay también otros factores que modifican la velocidad de funcionamiento de una vía metabólica; los organismos cuentan también con moléculas diseñadas específicamente para regular muy diversas funciones celulares por diferentes mecanismos. Estas sustancias, producidas por tejidos u órganos específicos, llamados glándulas, son capaces de modificar la función de otras células a distancia que se llaman hormonas.

Las hormonas pueden modificar el funcionamiento de otras células, pero, más específicamente, su metabolismo. Hay algunas, como la insulina, producida por el páncreas de los animales superiores, que tiene la propiedad de estimular el paso de la glucosa a través de las membranas de muchas de las células. De esta manera, la hormona puede regular la glucólisis y demás vías que le siguen, por lo asequible de la primera sustancia que alimenta la vía. Otras hormonas tienen efectos más complicados; pueden actuar directamente, como ciertos esteroides, uniéndose a las moléculas que forman los cromosomas y permitiendo la expresión de ciertas regiones del DNA y con ello la síntesis de determinadas proteínas. Otras cuentan con receptores específicos en las membranas de las células y mecanismos de transmisión de señales resultantes de su presencia y complicadas acciones subsecuentes en el interior de la célula. La adrenalina, por ejemplo, sin penetrar a la célula, a través de su receptor puede producir en el hígado, por una molécula que actúa como su mensajero (llamado segundo mensajero) la estimulación de la degradación del glucógeno almacenado y la liberación de glucosa a la circulación.

Estos casos que mencionamos son ejemplos de los mecanismos de regulación del metabolismo por las hormonas.

VARIACIONES DE LAS VÍAS

Hemos descrito de modo superficial una forma de degradación de la glucosa que parte a la molécula en dos fragmentos iguales, dos moléculas de piruvato o de lactato. Hemos mencionado que esto sucede en el ejercicio muscular intenso, y que permite obtener con rapidez grandes cantidades de ATP. Pero hay diversas variantes de esta vía; tal vez la más importante, por su repercusión en la vida diaria, sea la fermentación. Esta es simplemente una variación de la glucólisis, que dio lugar al estudio del metabolismo hacia finales del siglo pasado, cuando los Büchner señalaron que las células rotas de levadura eran capaces de transformar la glucosa en alcohol etílico.

La diferencia entre la glucólisis y la fermentación estriba en que, en esta última, prácticamente no existe el paso que convierte al piruvato en lactato, y en su lugar hay otra enzima que convierte al piruvato en acetaldehído, y otra a éste en alcohol, como se muestra en la figura II.12.

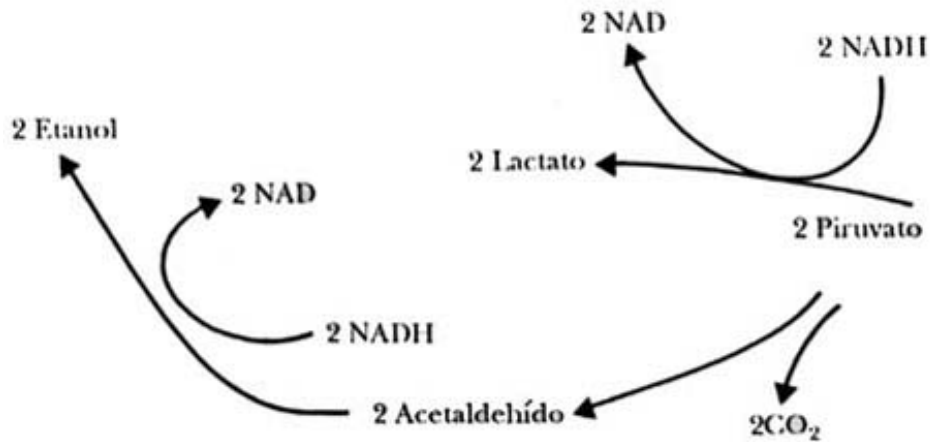
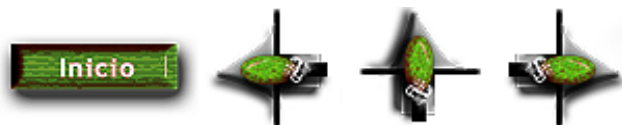


Figura II.2. La fermentación como una variante de la glucólisis.

La importancia de la fermentación estriba en que, en primer lugar, es la vía metabólica responsable de la producción de los cientos de bebidas alcohólicas que existen en el mundo. Independientemente de la importancia económica de las bebidas alcohólicas, el alcohol en sí es un solvente industrial de gran importancia, y se le ha utilizado como combustible sustituto de la gasolina.

Otra característica importante es la obtención de CO₂ por la transformación del piruvato en acetaldehído. Al mezclar levadura con masa de harina se producen en ésta burbujas muy pequeñas que durante la cocción se dilatan y permiten fabricar el pan. También es posible modificar la fermentación, interrumpiéndola a medio camino, y lograr la producción de glicerol a partir de la glucosa; este método se utilizó en la primera Guerra Mundial como fuente de glicerol para la producción de la nitroglicerina. Es así que, desde tiempos bíblicos, con el pan y el vino, se ha venido utilizando una variante de una vía metabólica para el beneficio del hombre.

Estos ejemplos de variaciones de una vía metabólica para la producción de materiales útiles para los humanos no son sino una muestra de la enorme diversidad de procedimientos que aprovechan las diferencias naturales o provocadas de las vías metabólicas y que constituyen la base de una gran parte de la moderna biotecnología.



III. LOS COMPONENTES CELULARES

AUNQUE se han esbozado algunas funciones de los componentes celulares, en esta sección se intentarán detallar las principales funciones de las estructuras de una célula. Empezaremos de fuera hacia adentro, a partir de la pared celular, esa envoltura protectora que recubre a la membrana, y que no todas las células tienen, y terminaremos con el núcleo y el citosol. Debe aclararse que no todos los componentes existen en todas las células, y que la descripción del cloroplasto, por ejemplo, correspondería a una célula vegetal. En las bacterias, por otra parte, sólo hay membranas y citosol y el núcleo no tiene una estructura definida.

LA PARED CELULAR Y LA PROTECCIÓN DE LAS CÉLULAS

Las bacterias, como muchos otros microorganismos, y las células vegetales están cubiertas por una membrana plasmática relativamente débil y semejante a la de muchas otras células. Sin embargo, por sus propias características de vida libre y por estar sujetas a una variedad muy grande de ambientes, muchos de ellos inhóspitos, además de la membrana requieren de una pared adicional protectora. La figura III.1 es una micrografía de la pared celular del quiste de una amiba y en ella se muestra una estructura de fibras entrecruzadas, todas de polímeros de azúcares, de gran resistencia, que sirven para proteger a la célula.



Figura III.1 La envoltura celular de una amiba. Una resistente malla de fibras de azúcares polimerizados protege a muchas células del daño que el ambiente adverso le puede causar.

La pared celular funciona en parte como protección mecánica, pero tal vez su papel principal consista en proteger a la célula de los cambios en la presión osmótica interna, que se generan por la gran cantidad de sustancias que contiene, cuando en el exterior hay una baja concentración de sustancias disueltas. Las sustancias disueltas en una célula se comportan como las moléculas de un gas comprimidas dentro de un tanque, y generan una fuerza que llamamos presión. Si un microorganismo o una levadura o el quiste de una amiba se colocan en agua, se produce una presión de varias atmósferas, por la cantidad de sustancias disueltas en el interior. De no existir la pared, se produciría de inmediato la ruptura de la membrana celular. Para tener idea de la presión que se puede desarrollar en un microorganismo en esas condiciones, se le puede comparar con la del neumático de un coche que se llena de aire a una presión aproximada de dos atmósferas. En este caso, la resistencia de la pared evita que estalle. En las células vegetales y microorganismos, la presión osmótica que se ejerce sobre la pared llega a ser de 15 a 20 atmósferas cuando se les coloca en el agua. No es difícil imaginar la resistencia que debe tener la pared para evitar que la célula se rompa.

La naturaleza nos ofrece muchos ejemplos de la relevancia de la pared celular. Muchas células viven en medios hipotónicos, prácticamente agua pura; en el caso de las amibas, por ejemplo, la forma de transmisión de unos individuos a otros es el quiste, que rodeado de su fuerte pared resiste esas presiones. Uno de los antibióticos más

conocidos, la penicilina, actúa bloqueando la síntesis de los componentes de la pared celular de algunos microorganismos. En presencia del antibiótico, éstos se desarrollan sin esa protección y mueren ante los ambientes de menor presión osmótica.

LA MEMBRANA CELULAR

Como ya se mencionó, durante mucho tiempo se consideró a la membrana celular como una estructura inerte, si acaso con poros más o menos específicos para la entrada y la salida por mecanismos poco claros de los diferentes materiales que la célula debe captar o expulsar al medio en que se encuentra. En la actualidad, este concepto ha cambiado (véase el capítulo I) y el modelo es el de una estructura fundamental, constituida por fosfolípidos, en la cual se encuentran embebidas otras numerosas moléculas, principalmente proteínas, que tienen diferentes actividades.

El lector interesado puede consultar en esta misma serie el volumen 18, *Las membranas de las células*, que explica con más detalle las funciones de estas estructuras.

La mayor parte de las células mantiene en su citoplasma una composición y, casi siempre, una concentración de sustancias disueltas notablemente diferente del medio que las rodea; aun en las células de los animales superiores, que viven en un ambiente prácticamente invariable, la composición del citoplasma celular es muy diferente de la del medio que lo rodea. Es relativamente sencillo explicar el hecho de que la membrana de la célula impida la salida o la entrada de las moléculas de gran tamaño, como las proteínas, los ácidos nucleicos o los polisacáridos; y también se puede explicar que las moléculas polares o cargadas deban mantenerse de un lado o del otro de la membrana. Esta situación requiere mecanismos especiales que muevan sustancias de un lado al otro de la membrana, pero que al mismo tiempo puedan distinguir entre unas y otras; por otra parte, no es raro encontrar moléculas o iones que se transportan en las membranas, del lado en donde se encuentran en menor concentración, hacia aquel en que ésta es mayor. Son estos movimientos a través de las membranas lo que se conoce con el nombre de transporte.

El fenómeno del transporte a través de una membrana ocurre de una manera muy sencilla. Para atravesar la doble capa de fosfolípidos que constituye la base estructural de la membrana y la separación entre ambos lados, una molécula o ion requieren de la presencia de un *sistema de transporte, o acarreador*, o un poro específico, capaz de permitirle el paso de un lado a otro de la membrana. Estos sistemas de transporte, para permitir el paso de la sustancia en cuestión, primero deben reconocerla entre lo que puede ser un sinnúmero de otras moléculas que se encuentran en los líquidos que bañan a las células.

El transporte puede tener dos variantes. En un caso se trata de una sustancia que haya de pasar de una mayor concentración a una menor, es decir, a favor del de su tendencia natural, como sucede cuando las moléculas de una gota de tinta en agua se mueven de donde hay más hacia donde hay menos, para finalmente llegar a una concentración igual en toda la solución; en estos casos, dentro de la complejidad de las moléculas de proteínas, es de esperar que el acarreador sea una molécula relativamente simple, que lo único que debe hacer es seleccionar las moléculas que deben pasar y dejar que lo hagan según su tendencia natural. Pero existe otro caso, que no es raro en las células y microorganismos, en el cual se captura una sustancia que se encuentra en el medio a una concentración relativamente baja, y se le introduce a la célula, en la cual la concentración es mucho mayor. El caso más frecuente es quizá el del ion de potasio (K_+), y el de otros materiales nutritivos que en muchas células se encuentran en concentraciones mayores que en el ambiente. En este caso, si el transporte se realiza en contra del gradiente de concentración, los componentes de la membrana deben invertir energía para llevarlo a cabo. En numerosas ocasiones, el sistema de transporte mismo es capaz de utilizar directamente la energía de la hidrólisis del ATP (adenosín trifosfato) para realizar el transporte. Este es el llamado sistema de *translocadores primarios*. En la figura III.2 se presentan dos tipos de transporte directo.

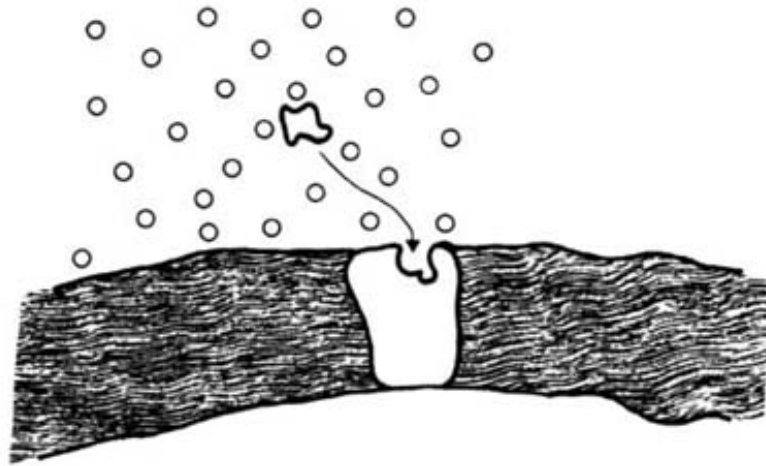


Figura III.2. Un traslocador o acarreador simple sólo reconoce a las moléculas que ha de dejar pasar, y les permite el paso a través de la membrana. Un traslocador activo necesita de una fuente de energía, que puede ser ATP o la derivada del transporte de los electrones. Otros acarreadores son verdaderos poros, que sin embargo, distinguen entre unas sustancias y otras.

Independientemente de la posibilidad de reconocer y transportar sustancias en un sentido y en otro, previo reconocimiento de las mismas, las membranas tienen también la posibilidad de reconocer otras sustancias con fines definidos, para establecer contacto con el exterior. El reconocimiento más claro y conocido de este tipo es probablemente el de las hormonas; numerosas células pueden reconocer estímulos o señales del exterior, y no sólo eso, pues como consecuencia de la interacción con ellas producen respuestas bien definidas, que pueden ser cambios fisiológicos o metabólicos discretos en un principio, pero que llegan a tener efectos profundos en un individuo. Un solo ejemplo de éstos es el de la insulina, hormona producida por el páncreas, que aumenta la velocidad con que la glucosa entra a las células, principalmente las musculares y las adiposas, con la participación de receptores específicos en la membrana celular. Siendo éste un mecanismo normal para modular el comportamiento metabólico de las células, cuando falta en forma total o disminuye la producción de la hormona aparecen los trastornos, que se traducen en el padecimiento llamado diabetes.

En algunas membranas se localizan funciones más especializadas, como la movilidad de las amibas y otros protozoarios con movimiento amiboide; las mismas células musculares deben establecer contactos entre los materiales contráctiles del interior y la membrana, para producir efectivamente la contracción o acortamiento de la fibra. En otras células, la membrana elimina al exterior o toma de él sustancias, mediante la formación de vesículas que se producen al englobarías. La *fagocitosis* y la *exocitosis* son ejemplos de este fenómeno; en la primera, la membrana envuelve a una partícula o grupo de ellas, se cierra luego a su alrededor, y forma finalmente una vesícula que se desprende de la membrana y pasa al citoplasma, convirtiéndose en una vacuola digestiva mediante la interacción de esa vesícula con un lisosoma (figura III.3). Es lógico suponer que funciones como las descritas implican la participación de grandes números de componentes, que hacen de la membrana celular una estructura más complicada todavía.

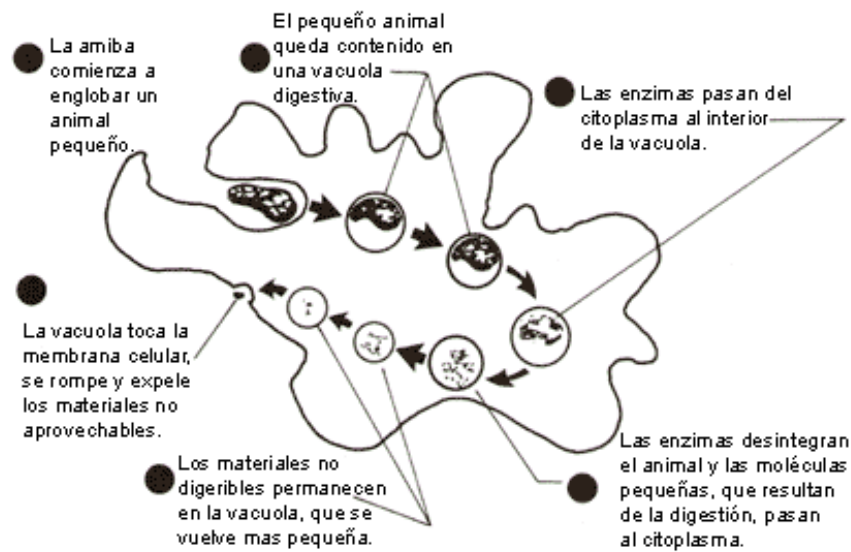


Figura III.3. La fagocitosis. La célula engulle alguna partícula y luego la digiere en el interior de las vesículas digestivas que se forman.

En las bacterias, que no poseen organelos en su interior, la membrana externa los sustituye y se encarga de un buen número de funciones que en otras células y organismos están asignadas a ellos. Como se verá más adelante, la fosforilación oxidativa y la fotosíntesis son funciones realizadas en las mitocondrias y en los cloroplastos, respectivamente. Estas funciones requieren de una estructura membranosa cerrada, pero como las bacterias no cuentan más que con la membrana externa, es ahí donde se realizan. La semejanza que hay entre la membrana externa de las bacterias y la membrana interna de las mitocondrias ha dado lugar a que se considere, con cierto grado de certeza, que las mitocondrias y los cloroplastos resultaron de la inclusión de bacterias en el interior de las células.

LOS ORGANELOS CELULARES

Dentro de esta denominación se incluye una serie de grandes formaciones intracelulares, como las mitocondrias, el retículo endoplásmico, o hasta el núcleo mismo; casi todos ellos representan de alguna forma estructuras en las que, o bien una membrana es la base, o al menos es componente principal de ellas.

Algunos han definido con claridad su papel funcional dentro de la célula, mientras que otros apenas empiezan a conocer su significado fisiológico. De cualquier manera, el conocimiento actual de cada una de estas formaciones celulares es suficiente para tener una idea de la organización funcional que existe dentro de las células.

EL RETÍCULO ENDOPLÁSMICO

Esta formación se encuentra en todas las células. Consiste en un conjunto de túbulos dispuestos en forma de red, conectados unos con otros, que se distribuyen por toda la célula. Es posible distinguir dos tipos en esta estructura, el *retículo endoplásmico liso* y el *rugoso*, que se diferencian por su aspecto. Ambos presentan en la microscopía electrónica la misma imagen tubular, pero en el liso los contornos son suaves y continuos, mientras que en la variedad rugosa, como su nombre lo indica, existen partículas más o menos abundantes a todo lo largo del contorno, que no son otra cosa que ribosomas, estructuras supramacromoleculares que ya se describieron.

Debido a que en esta estructura se encuentran los ribosomas, y a que la variedad rugosa es más abundante en los tejidos en los que hay una actividad importante de síntesis de proteínas —sumados a muchos otros datos experimentales, uno de los cuales ha sido el aislamiento de los ribosomas y su estudio— se le ha asignado como su actividad primordial la síntesis de las proteínas. En las células hepáticas, por ejemplo, hay un equilibrio entre

las dos variedades de retículo endoplásmico. En la figura III.4 se presenta una micrografía electrónica de una zona de franco predominio de la variedad rugosa; en el figura III.4b se muestra la variedad lisa. Salvo por la ausencia de granulaciones, el retículo endoplásmico liso tiene la misma apariencia que el rugoso; esta estructura, en el hígado, se vuelve más abundante cuando se administra a los animales algunas sustancias tóxicas o medicamentos, y se aumenta su capacidad para activarlas o inactivarlas; por ello se le ha relacionado con la capacidad de "destoxificar" algunas sustancias ingeridas, dentro de las cuales se encuentran ciertos medicamentos. La abundancia de este sistema en algunos tejidos, como por ejemplo en parte de la glándula suprarrenal y del testículo, que se encargan de producir constantemente hormonas de las llamadas esteroideas, ha hecho suponer que tiene que ver con este proceso. En este sistema membranoso parece residir también una vía de síntesis para los ácidos grasos, principales componentes de la mayoría de los lípidos, así como de los fosfolípidos.

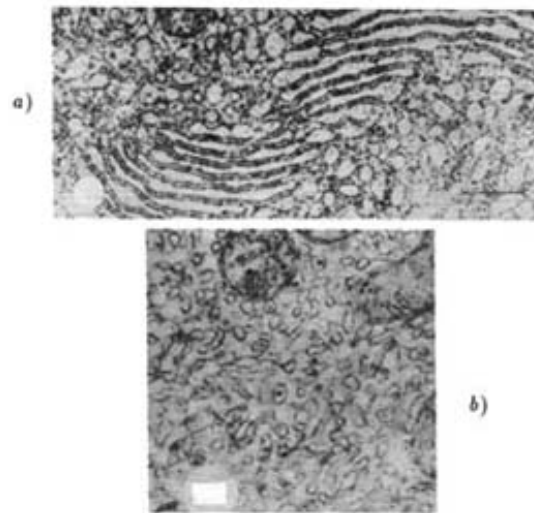


Figura III.4. El retículo endoplásmico y sus dos variedades; a) el rugoso, que toma este aspecto porque tiene dos ribosomas, y b) el liso. Ambos, sin embargo, tienen otras funciones.

En el músculo, el retículo endoplásmico tiene una función especial, pues requiere de una disposición regular en relación con las miofibrillas; esto, aunado al hecho de que posee una gran capacidad para transportar calcio, así como una gran cantidad de evidencias experimentales de otro tipo, permite asegurar que participa en la regulación de la contracción muscular. La regulación del proceso se hace mediante el secuestro o la liberación del ion calcio al citosol, en donde se encuentran las miofibrillas, que lo requieren para contraerse. En la figura III.5 se presenta una micrografía electrónica que muestra la regularidad del retículo endoplásmico liso. Es necesario señalar, además, que las características funcionales de esta estructura varían según el tipo celular que se utilice.

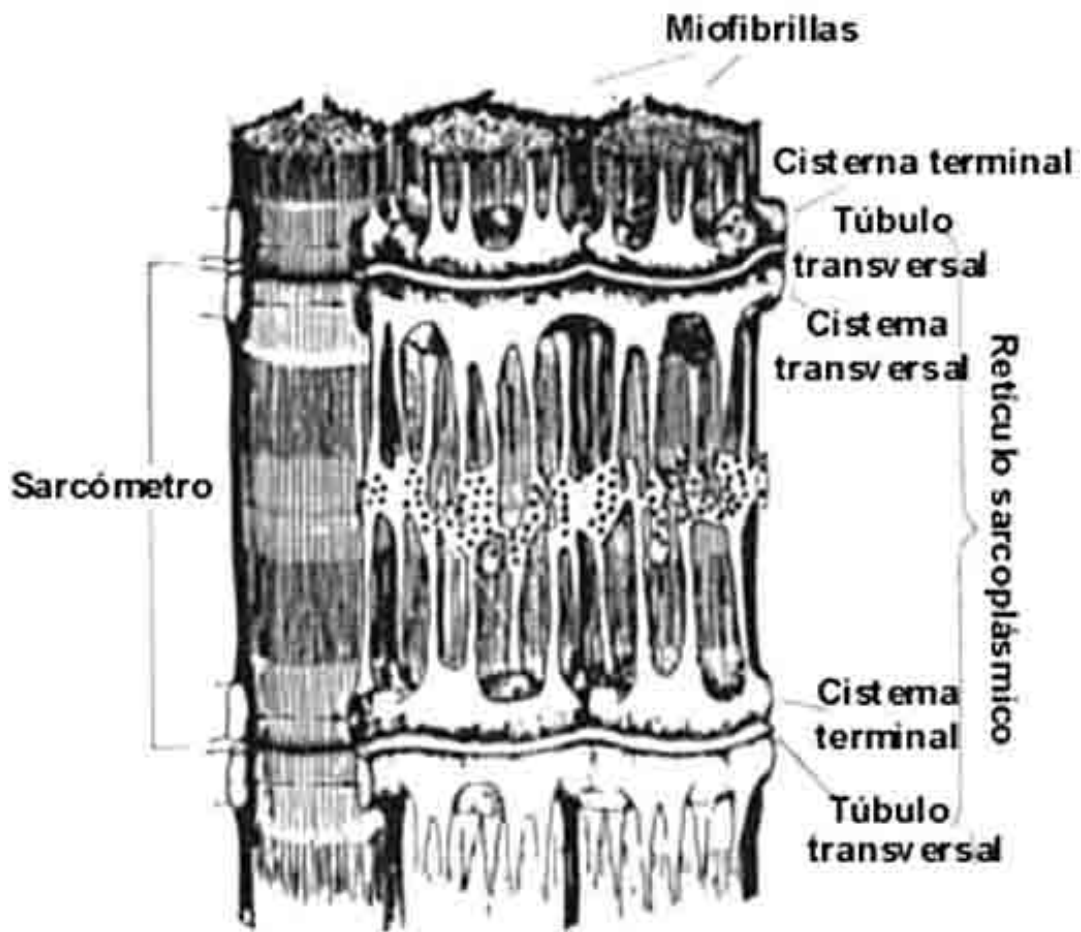


Figura III.5. El retículo endoplásmico y su disposición en el músculo.

Una de las razones que ha hecho posible estudiar distintos tipos de retículo endoplásmico es la posibilidad que hay de aislarlo. De acuerdo con el esquema de la figura III.6, se le puede separar de otros componentes celulares, centrifugando a 105 000 veces la fuerza de la gravedad durante una hora. Con este procedimiento se obtienen vesículas que provienen del retículo endoplásmico y del aparato de Golgi, que a su vez se pueden separar entre sí mediante procedimientos más finos de ultracentrifugación, debido a que tienen diferencias ligeras en su densidad.

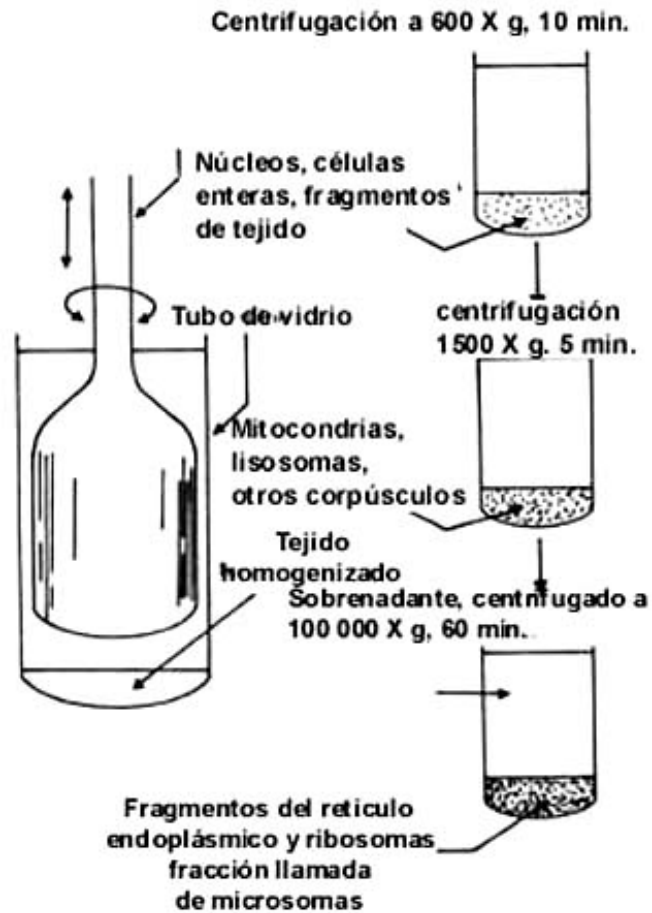


Figura III.6. Esquema que muestra el procedimiento para separar el retículo endoplásmico y otros componentes celulares.

EL APARATO DE GOLGI

La figura III.7 muestra una micrografía electrónica de una célula en la que se puede observar una estructura membranosa polisacular (de muchos sacos pequeños) que parece provenir o estar relacionada con el retículo endoplásmico, es decir, en la que varias estructuras vesiculares se apilan unas junto a otras, generalmente cerca del núcleo celular; esta disposición también aparece en las células que tienen funciones secretoras. Esta estructura recibe el nombre de aparato de Golgi, y a partir de las vesículas grandes cercanas al núcleo, forma, con los productos de su secreción, vesículas más pequeñas que viajan luego hasta la superficie de la célula, se funden con la membrana externa y vacían su contenido al exterior. Esta estructura tiene también que ver con la producción de enzimas digestivas, y se observa con mucha claridad por ejemplo en el páncreas, en las células de la pared intestinal y en otras glándulas.

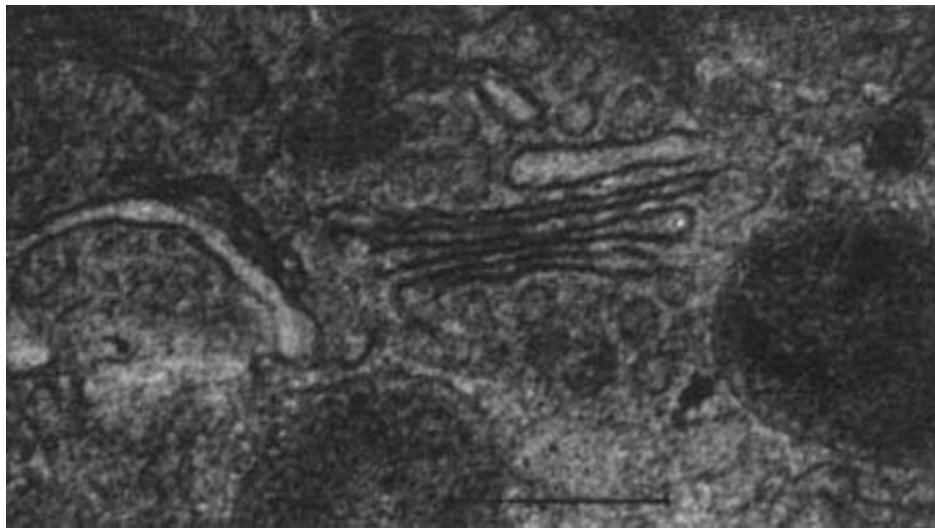


Figura III.7. El aparato de Golgi y su función secretora. En él se forman pequeñas vesículas que son exportadas hacia fuera de la célula o a otros organelos.

Se ha estudiado ahora este sistema con más detalle, y se descubrió que las vesículas que forma pueden llevar proteínas, no sólo al exterior de la célula, sino también algunas que se insertan sólo en la membrana plasmática y en otros organelos. Así, el papel del aparato de Golgi se vuelve una especie de correo o sistema de distribución de las proteínas de las células a los sitios donde deben cumplir su función. No sólo eso, también en algunas ocasiones, las proteínas pueden regresar de la membrana al aparato de Golgi, en una especie de ciclo, que puede regular ciertas funciones, al modificar la cantidad de enzimas o receptores que se encuentran en una membrana.

El aparato de Golgi también se encarga de producir y distribuir las proteínas que sintetiza a todos los organelos celulares. Una vez sintetizadas, las procesa e incluye en vesículas que se dirigen a los distintos organelos de las células, a los que se incorporan para realizar funciones especiales.

LAS MITOCONDRIAS Y LA ENERGÍA CELULAR

Las mitocondrias se pueden aislar puras; de hecho, fueron estos organelos los primeros en ser separados en grandes cantidades para su estudio, a partir de células del hígado. El mecanismo de la transformación de la energía que lleva a la síntesis del ATP, y que se conoce como *fosforilación oxidativa*, se inició y se ha realizado principalmente en estos organelos, que se han obtenido básicamente de dos fuentes: el hígado de rata y el corazón de res.

La figura III.8 muestra una micrografía electrónica de una mitocondria, así como un esquema de su estructura. Se trata de un doble saco cerrado, es decir, que tiene una doble membrana, la *externa* y la *interna*; entre ambas queda un espacio intermembranal. Además, la membrana interna se pliega sobre sí misma, y los pliegues que se forman constituyen las llamadas *crestas mitocondriales*, que aumentan notablemente la superficie de la membrana interna, muy posiblemente para darle mayor capacidad funcional. El espacio contenido dentro de la membrana interna recibe el nombre de *matriz mitocondrial*. Las mitocondrias se encargan de diferentes funciones, pero la principal de ellas es la fosforilación oxidativa; para realizarla cuentan con una complicada serie de moléculas en su membrana interna, que se encargan de llevar átomos de hidrógenos y electrones de diferentes sustancias que provienen de los alimentos, al oxígeno y que en conjunto se conocen como la *cadena respiratoria* o *cadena de transporte de electrones*.

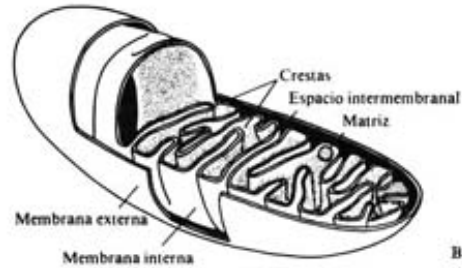
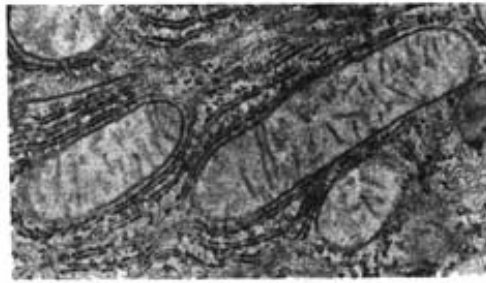


Figura III.8. Una mitocondria.

En la transformación de la energía la función de las mitocondrias comprende primero la producción de varias sustancias, mediante el proceso que se conoce como el *ciclo de los ácidos tricarbóxicos*, que ya se describió en el capítulo II, también llamado *ciclo de Krebs*, en honor del científico que llegó a integrarlo.

Una mitocondria, para producir el ATP hace lo siguiente:

a) A partir de las diferentes sustancias que se producen en el ciclo de Krebs toma átomos de hidrógeno o electrones para llevarlos al oxígeno mediante la cadena respiratoria. La unión de los hidrógenos con el oxígeno da lugar a la formación de moléculas de agua. Además, durante la operación del ciclo de Krebs, las sustancias que provienen del metabolismo se convierten en CO_2 .

b) La cadena respiratoria, localizada en la membrana interna de la mitocondria, toma los hidrógenos, completos, aunque en partes de ella sólo toma sus electrones, y los une finalmente, pero llevándolos gradualmente hacia él, con el oxígeno. La otra parte que se muestra en la figura III.9 ilustra el hecho de que simultáneamente al transporte de hidrógenos y electrones al oxígeno, la energía del proceso es atrapada en los enlaces químicos del ATP. De paso, la mitocondria es entonces el lugar en que realmente se realiza la respiración de las células. Incluso la respiración de los organismos completos no es otra cosa que la suma de la respiración de las mitocondrias de todas sus células. El pulmón sólo toma del aire el oxígeno que se necesita y lo envía por medio de la sangre a los tejidos y a las mitocondrias de sus células, y recoge el bióxido de carbono que producen.

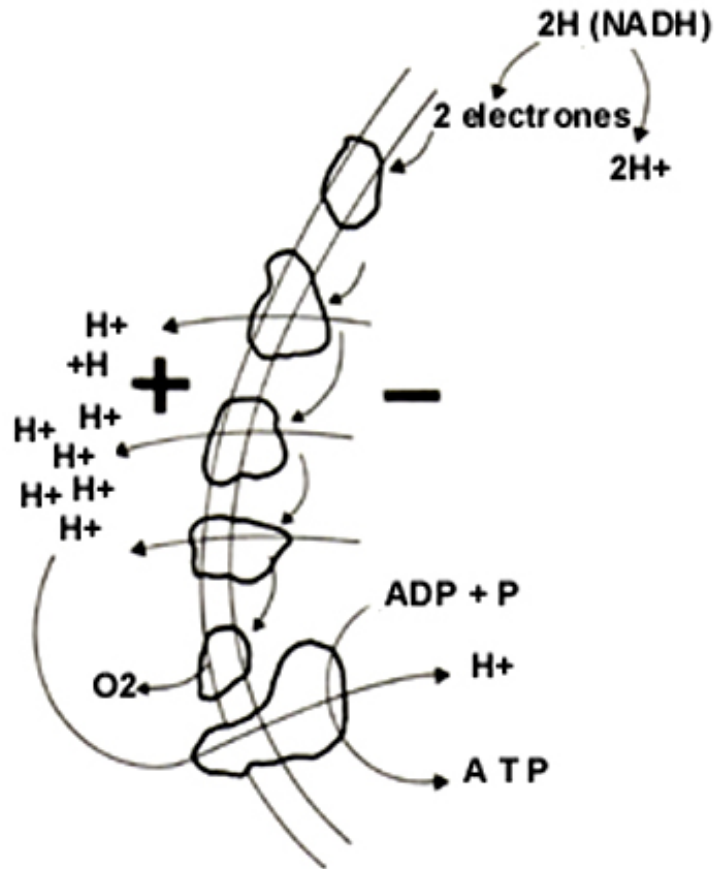


Figura III.9. El metabolismo y las transformaciones de la energía en las mitocondrias. A partir de los hidrógenos que se obtienen de muchas de las sustancias derivadas del metabolismo, se genera el ATP. Además de las transformaciones de la energía, la mitocondria es el sitio de numerosas transformaciones de unas sustancias en otras.

c) Con más detalle, la figura III.10 presenta un esquema sencillo del mecanismo de la fosforilación oxidativa. Los hidrógenos (compuestos cada uno de un protón y un electrón) que provienen de la oxidación de los sustratos, principalmente por el ciclo de Krebs, pasan a la cadena respiratoria, para llevarlos al oxígeno, y tomar la energía derivada de ese transporte para "bombear" protones al exterior, generando una diferencia de concentración de éstos entre el interior y el exterior. Dado que la membrana impide su regreso, la acumulación relativa de hidrogeniones en el exterior y su tendencia a regresar, se convierte realmente en otra forma de energía, que puede ser utilizada por la célula de la misma manera que un sistema adecuado aprovecha la energía de una caída de agua para convertirla en energía eléctrica, o mecánica, por ejemplo.

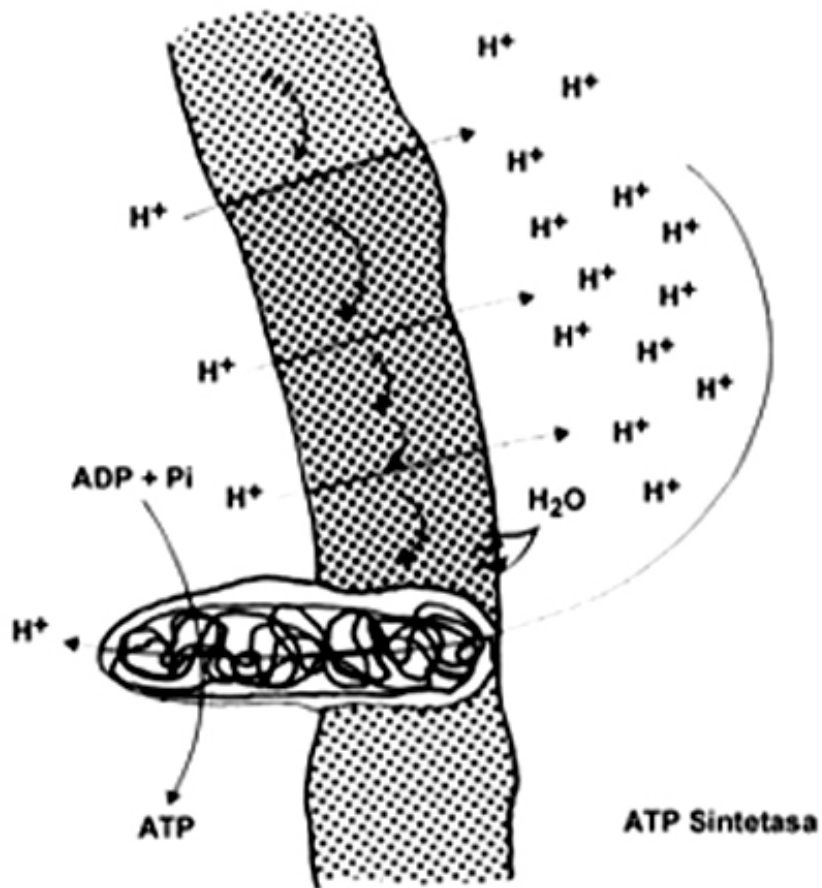


Figura III.10. El mecanismo de la síntesis del ATP. A partir de la energía que se desprendería de la combinación de los átomos de hidrógeno provenientes del metabolismo, con el oxígeno, se forma una diferencia de concentraciones de hidrogeniones entre el interior y el exterior de la mitocondria. La energía con que estos tienden a regresar al interior es utilizada por una enzima llamada ATP sintetasa, para producir el ATP a partir de sus componentes, el ADP y el fosfato.

d) La mitocondria cuenta con una proteína, como la que se presenta en el esquema, la cual, tomando la energía del regreso de los protones, es capaz de unir al adenosín difosfato (ADP), con un fosfato más, para formar el ATP.

De esta forma, las mitocondrias, de manera asombrosa y eficiente, se encargan de transformar la energía de los enlaces químicos de los intermediarios del metabolismo, en los enlaces químicos del ATP, que representa la forma de energía que es aprovechada directamente por la mayoría de los procesos celulares que la requieren. Debido a esto, se dice que la mitocondria es como la "casa de máquinas" de la célula.

Además, siendo la mitocondria una estructura cerrada debe contar con sistemas adecuados para transportar del exterior las sustancias que necesita para su funcionamiento. Cuenta con transportadores específicos y muy variados para el movimiento de muchas sustancias, entre las que destacan, desde luego, el ADP y el fosfato, que vienen del exterior, y el ATP, que debe salir para ser utilizado; además, hay una serie muy larga de otras sustancias necesarias, no sólo para la fosforilación oxidativa, sino también para otras funciones, cada una de las cuales tiene un sistema de transporte.

Como ya se mencionó, además de la fosforilación oxidativa, la mitocondria realiza otras funciones. Una de las más importantes es la fragmentación de los ácidos grasos (véase el capítulo II), que son moléculas largas, formadas por una cadena de unos 16 a 18 átomos de carbono e hidrógeno. A partir de los carbohidratos, el material que recibe la mitocondria es el ácido pirúvico (en forma de piruvato). En la degradación de las proteínas recibe aminoácidos, que también debe modificar para aprovecharlos en el ciclo de Krebs; requiere entonces una gran variedad de enzimas que transforman a todas estas moléculas en fragmentos de dos átomos de carbono, principal fuente de alimentación de este sistema metabólico.

LOS CLOROPLASTOS

Las mitocondrias son a la fosforilación oxidativa lo que los cloroplastos a la fotosíntesis; esta última función es una de las más importantes, no sólo para las plantas, sino para todo el mundo biológico. Prácticamente toda la energía de que depende la vida es obtenida del Sol, mediante el proceso de la fotosíntesis.

Los cloroplastos son también estructuras membranosas cerradas, constituidas por un doble sistema de membranas. La figura III.11 muestra una micrografía electrónica de uno de estos organelos y un esquema de su organización estructural. Como en el caso de la mitocondria, el sistema membranoso interno es más complicado que el externo, y forma estructuras cerradas, llamadas *tilacoides*, que a su vez se reúnen para constituir los llamados granos o grana. El cloroplasto es un poco más complicado que la mitocondria, pues suele contar con dos sistemas para la obtención de formas diferentes de energía; una es el mismo ATP que ya conocemos, que sirve como fuente directa de energía y la otra el NADPH (nicotín adenín dinucleótido reducido), que no es otra cosa que una complicada molécula que tiene hidrógeno de un nivel energético mucho más elevado que el del agua y que puede utilizarse para la síntesis de las moléculas de azúcares, grasa y proteínas. En las mitocondrias, los átomos de hidrógeno y los electrones que participan en la fosforilación oxidativa son de un nivel energético no muy diferente al del hidrógeno gaseoso y proporcionan la energía derivada de su camino de descenso para unirse con el oxígeno y sintetizar el ATP. En la fotosíntesis, los electrones que participan parten del agua, es decir, de un nivel energético bajo, y para ser utilizados en la síntesis del ATP o producir hidrógenos de un nivel más alto, reciben energía que un sistema complicado de moléculas toma de la luz solar.

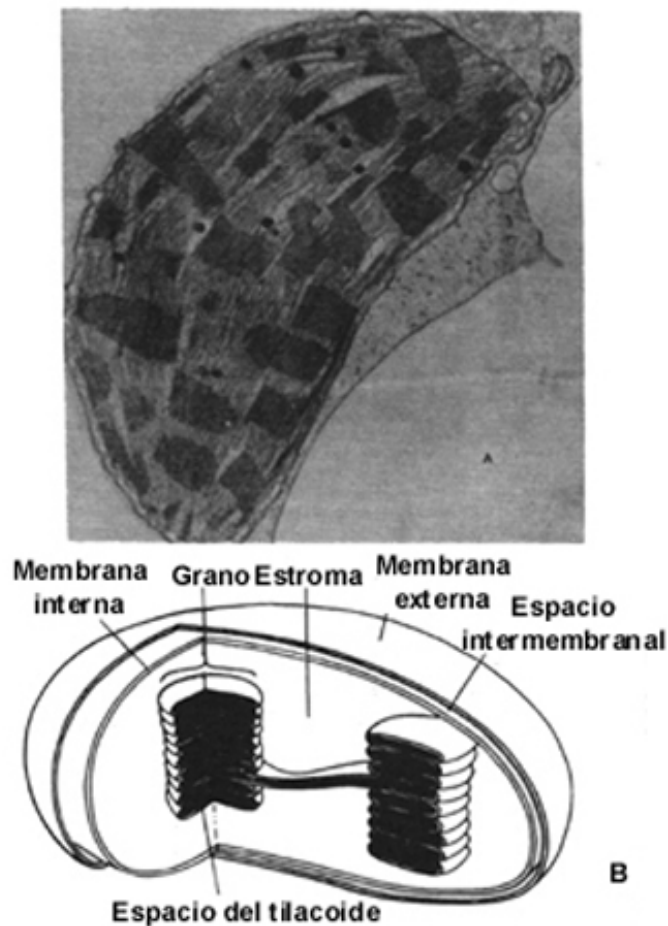


Figura III.11. Micrografía de un cloroplasto.

A continuación se describe en forma sencilla el proceso de la fotosíntesis (figura 111.12) :

a) La fotosíntesis se inicia con un proceso complicado. Con la energía que proviene de la luz, una molécula de agua se rompe para liberar oxígeno, dos protones (átomos de hidrógeno sin su electrón), y un par de electrones, que proviene de los hidrógenos del agua. Este par de electrones es energizado por el sistema molecular llamado fotosistema II, semejante en su funcionamiento a la cadena respiratoria mitocondrial, pero con diferentes componentes. Como en la mitocondria, los electrones previamente energizados viajan hacia un nivel más bajo, y energizan también el bombeo de protones en las membranas de los tilacoides, generando una diferencia de concentración de éstos. Acoplada al sistema está también una ATP sintetasa, que aprovechando la diferencia de concentración de los protones a ambos lados de la membrana y su regreso, cataliza la unión del ADP con el fosfato para sintetizar el ATP.

b) En una segunda fase, los electrones que han descendido de nivel para sintetizar el ATP son energizados de nuevo por la luz, ahora en el llamado fotosistema I, e inician un camino más corto que los lleva finalmente a producir la molécula llamada NADPH, cuya principal característica es tener dos átomos de hidrógeno disponibles para participar en la síntesis de los azúcares.

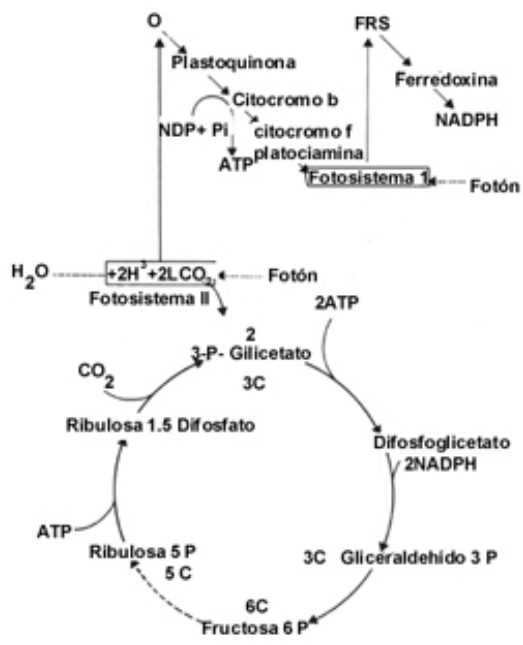
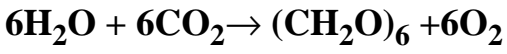


Figura III.12. Esquema de la fotosíntesis. Con la energía de la luz, dos sistemas producen el II ATP y el I NADH. En la parte inferior se muestra cómo con el ATP y el NADPH que se producen en la fotosíntesis se incorporan luego los átomos de CO₂ a un azúcar. Los monosacáridos, como la sacarosa en la caña de azúcar.

c) Una vez que en el proceso, la energía solar es convertida en la energía de los enlaces del ATP, por una parte, y por la otra, en subir de nivel energético a los hidrógenos de la molécula de agua, ahora en el NADP (como NADPH), ocurre lo que se señala en la parte inferior de la figura III.12, en la cual se muestra otro mecanismo cíclico que tiene lugar en el espacio intermembranar de los cloroplastos, y que se conoce con el nombre de *ciclo de Calvin*, en honor de su descubridor. A partir de una molécula de azúcar, la ribulosa-5-fosfato, y con la utilización de tres moléculas de ATP, y dos de NADPH por cada una de CO₂, es posible llegar, en una serie de pasos, a una molécula de seis átomos de carbono, la fructosa-6-fosfato, que luego puede convertirse en glucosa y en almidón. Es claro que este proceso debe repetirse varias veces (seis) para tener la ganancia neta de una molécula de azúcar, según la ecuación siguiente:



También es claro que si la incorporación de una molécula de CO₂ requiere de tres de ATP y dos de NADPH, la síntesis de una molécula de glucosa, de seis átomos de carbono, requiere 18 de ATP y 12 de NADPH.

Recordemos ahora la distribución de los tres componentes mencionados: los fotosistemas II y I, que se encargan de la síntesis del ATP y del NADH, respectivamente, están en la membrana del tilacoide; en el espacio intermembranal, que constituye la matriz del cloroplasto, es donde tienen lugar las reacciones del ciclo de Calvin.

Otra de las reacciones que se señala en la figura III.12 es la formación de glucosa y almidón; en especial el segundo requiere de un sistema muy complicado de reacciones que no tienen lugar en el cloroplasto, ni siquiera en la hoja de las plantas, sino en otros órganos, como semillas, tubérculos, etcétera.

En resumen, el cloroplasto es el que se encarga de capturar la energía del Sol y atraparla, convertirla o almacenarla en los enlaces químicos de los azúcares. Posteriormente, o bien los azúcares son utilizados por otros organismos o dentro de la misma planta, y a partir de ellos se obtienen las proteínas, las grasas y otros compuestos que los organismos necesitan. Por último, aunque hemos presentado aquí el esquema general de la fotosíntesis en un cloroplasto, también en el caso de las bacterias fotosintéticas la fotosíntesis se realiza en la membrana externa del microorganismo y la matriz interna (al igual que sucede con la fosforilación oxidativa).

LA VACUOLA

Las células vegetales cuentan con una vesícula en su interior, la vacuola, que en algunos casos puede llegar a ocupar gran parte del espacio interno. Este organelo está encargado de almacenar distintos tipos de moléculas pequeñas, principalmente sales (iones) y aminoácidos, entre las primeras destacan el potasio, el fosfato y derivados de él —como pirofosfato o metafosfato—, calcio y otros iones de distintos tipos. Las vacuolas se encargan de tomar materiales que, o bien la célula requiere almacenar o le son tóxicas; también se encarga de guardar en su interior muchas sustancias que, por la concentración que alcanzan y la presión osmótica que generan le pueden hacer daño a la célula.

Algunos animales unicelulares, como los protozoarios, tienen también vacuolas que pueden ser contráctiles. Las células guardan en ellas materiales que les son dañinos o inútiles y cuando se ha acumulado una importante cantidad de ellos, la vacuola se contrae y por algún punto de contacto con la membrana externa elimina su contenido sacándolo al exterior.

Además, las vacuolas cumplen funciones digestivas de diversas sustancias que son tomadas del exterior por fagocitosis, como sucede en muchos protozoarios, o del mismo interior de las células, pero que le son ya inútiles o dañinas.

LOS LISOSOMAS

Los lisosomas son estructuras membranosas cerradas, constituidas por una sola membrana, y son más pequeños que las mitocondrias. En la figura III.13 se presenta una micrografía electrónica en la que se aprecian estas estructuras. Los lisosomas se pueden obtener en estado de pureza por métodos especiales de centrifugación que permiten separarlos de las mitocondrias, pues en los métodos generales de preparación se obtienen juntos. Estos organelos, si se les rompe colocándolos en agua, o por medio de algún detergente, ponen en evidencia una serie de actividades enzimáticas muy diversas, pero capaces de romper por hidrólisis (introduciendo en algunos enlaces moléculas de agua) lípidos, carbohidratos, ácidos nucleicos, ésteres, etcétera.

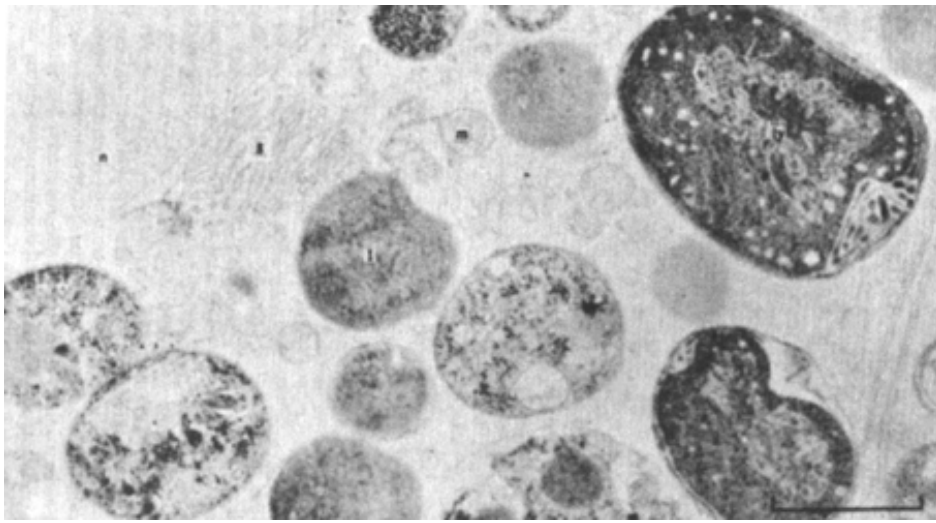


Figura III.13. Micrografías de células en las que se aprecian, a) una vacuola de una levadura y b) los lisosomas de una célula.

Se considera que estos organelos representan los elementos necesarios para degradar compuestos intracelulares en caso necesario, al poner en libertad las enzimas que contienen, que podríamos considerar destructivas.

Otro de los papeles de los lisosomas tiene lugar en algunas células, como las amibas o algunos leucocitos, que cuando capturan por fagocitosis alguna partícula del medio ambiente, forman una vesícula de la membrana plasmática a su alrededor.

Esta vesícula se cierra y luego se funde con un lisosoma, y las enzimas de éste se encargan de digerir la partícula extraña (que puede ser una bacteria, por ejemplo) que ha sido fagocitada.

LOS CENTRIOLOS

Son dos cuerpos pequeños que se encuentran cerca del núcleo de las células, y tienen la capacidad de duplicarse antes de que se inicie la división celular. En las células ciliadas o flageladas, la duplicación continuada de los centriolos representa el origen de los cuerpos basales, que dan luego lugar a los cilios y flagelos y a sus llamados centros cinéticos o de movilización; de alguna forma los centriolos están implicados en el movimiento de estos componentes de la célula.

Estos corpúsculos desempeñan una serie de importantes actividades en la organización del movimiento interno de distintos componentes de la célula. En la figura III.14 se muestra una micrografía electrónica en la que se pueden apreciar los centriolos de una célula de una medusa en el momento de dividirse.

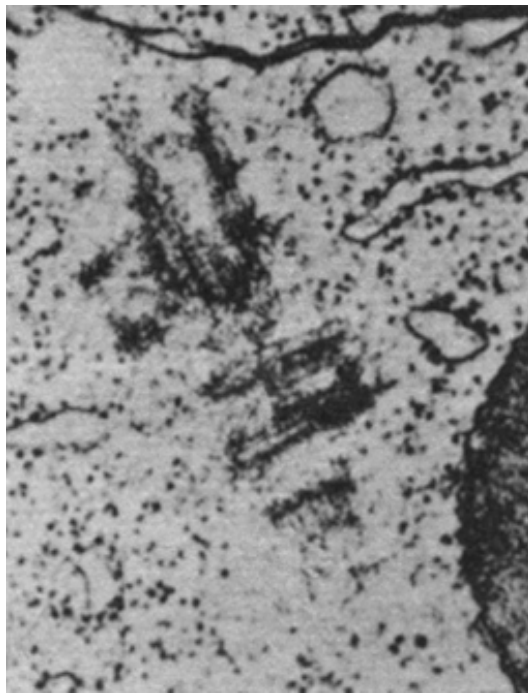


Figura III.14. Micrografía de una célula. Se pueden observar los centriolos.

LOS MICROTÚBULOS Y LOS MICROFILAMENTOS

Estas estructuras, como su nombre lo indica, representan formaciones de apariencia tubular o filamentosa que se encuentran en el interior de prácticamente todas las células, con características y disposición a veces constantes y otras veces variables; se encuentran en el citoplasma, ya sea aislados o asociados con centriolos, cilios y flagelos. Están compuestos por proteínas llamadas tubulinas y tienen la capacidad de contraerse. Estas estructuras intervienen en el movimiento celular primitivo, como por ejemplo el de tipo amiboide de las amibas y los glóbulos blancos. También participan en los movimientos del citoplasma celular, en la llamada ciclosis, o en el movimiento de sustancias, o hasta de vesículas dentro de las células; muchos de estos movimientos están dirigidos por los microtúbulos. También los centriolos, que tienen una función tan importante durante la división celular, pues parecen dirigirla, están formados por microtúbulos. Durante esta etapa de la vida celular, los microtúbulos también se asocian para constituir haces más gruesos, que constituyen el huso acromático.

Los microfilamentos son estructuras semejantes a los microtúbulos, formados por distintos tipos de proteínas, de las cuales las más conocidas son la actina y la miosina, que se encuentran en el músculo. Estas estructuras han sido objeto de muchísimos estudios, y gracias a ellas sabemos que son las responsables de la contracción muscular. Las fibras de actina y de miosina se deslizan unas sobre otras, al tiempo que rompen al ATP, y con su energía producen el acortamiento de las fibras y de las células que las contienen. La imagen de la figura III.15b es precisamente de un músculo, y en ella se aprecia la estructura microfilamentosa responsable de la contracción.

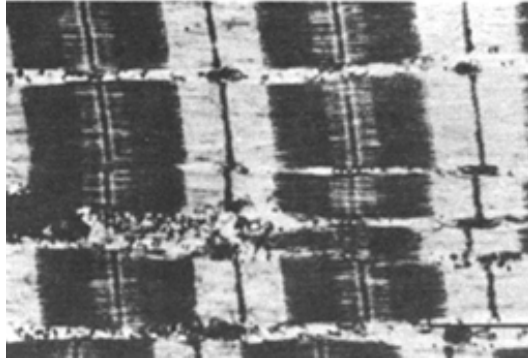
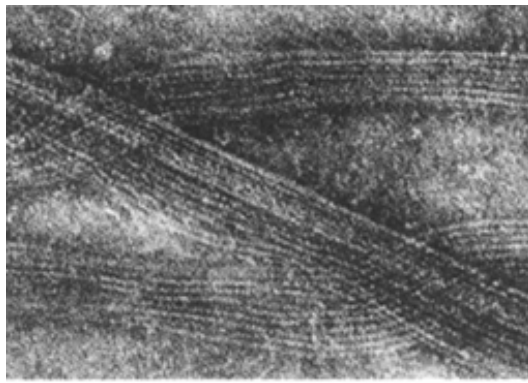


Figura III.15. a) Micrografía de un microtúbulo y b) de un microfilamento.

No sólo las células musculares se mueven; ya sabemos, por ejemplo, del movimiento amiboide de los leucocitos y las amibas. Así, todos los movimientos de las células se realizan por microfilamentos contráctiles. Sin embargo, todavía está muy lejos el conocimiento total de los mecanismos del movimiento interno de las células.

EL NÚCLEO

El núcleo ha sido considerado como el centro de gobierno de las funciones celulares; suele ser la estructura más voluminosa de las células, separada de manera imperfecta del resto del citoplasma por una membrana que muestra grandes poros (véase la figura III.16). En las micrografías electrónicas es relativamente fácil observar estos poros; sin embargo, al estudiar las propiedades de la membrana nuclear se ha comprobado que no obstante la presencia de un gran número de discontinuidades, que se antojarían como orificios en la membrana nuclear, ésta es impenetrable y capaz de desarrollar una diferencia en el potencial eléctrico a ambos lados; aunque la impermeabilidad y la diferencia de potencial no se observan en todas las membranas nucleares que se han estudiado.

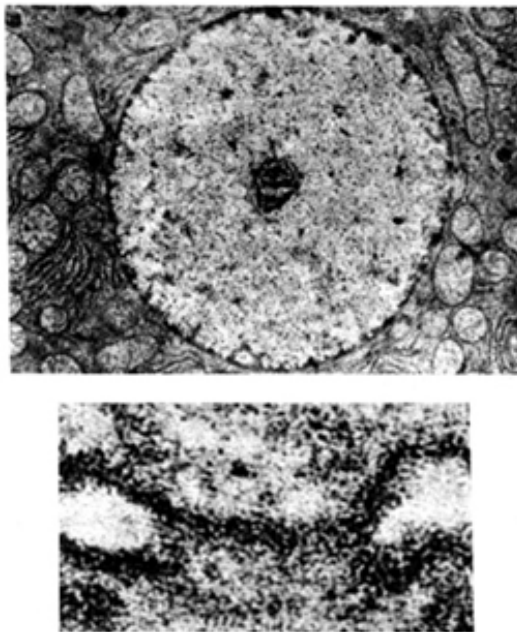


Figura III.16. Micrografía de una célula en la que se claramente el núcleo.

Existen también sistemas especiales de reconocimiento, que permiten la agregación de las células que son semejantes. Inclusive las esponjas, organismos primitivos, tienen sistemas de reconocimiento que permiten la adhesión de células de la misma especie, y que impiden la adhesión entre diferentes especies.

El interior del núcleo, por otra parte, es una estructura relativamente uniforme cuando las células no están dividiéndose. En cuanto a su contenido, la parte más importante es el DNA y las proteínas que a él se asocian, así como las enzimas relacionadas en la duplicación del DNA y la transcripción, es decir, la síntesis de las diferentes moléculas de RNA a partir de la información contenida en el DNA. El DNA forma los *cromosomas*, que es como se agrupa para organizar la información "escrita" que contiene, en una especie de capítulos. No se conoce con precisión la forma en que los cromosomas se organizan dentro del núcleo; sin embargo, durante la meiosis, uno de los hechos más espectaculares es que la estructura nuclear se desintegra, y es posible identificarlos por su forma. Durante el tiempo en que las células no están en división los cromosomas no son visibles, y parece que todos se encuentran formando una masa uniforme y compacta en el interior del núcleo.

LA DIVISIÓN CELULAR

La división celular es uno de los fenómenos más espectaculares de la naturaleza; tanto desde el punto de vista morfológico, como del bioquímico. Antes de iniciarse tiene lugar la *duplicación* del DNA. Mediante ella se hacen dos copias *idénticas* del DNA, las cuales irán a dar a cada una de las dos células hijas resultantes. También se elaboran las proteínas que lo recubren, de modo que, antes de iniciarse el proceso visible de la división celular, ya se han generado dos "juegos" de cromosomas. En el siguiente paso se observa la fase visible del fenómeno, en el cual se distribuyen los cromosomas para las futuras células hijas, y se divide la célula madre. El fenómeno de la división celular es tan asombroso que ha llamado la atención de numerosos investigadores desde hace muchos decenios; además, produce la modificación y la interacción concertada de prácticamente todo el interior de la célula.

Clásicamente se han distinguido en la parte visible de la división celular varias etapas, las cuales se muestran en la figura III.17 en forma esquemática: en la primera de ellas, la profase, se observa que el contenido del núcleo adquiere la forma de un grueso filamento; al final de este estadio desaparece la membrana nuclear.

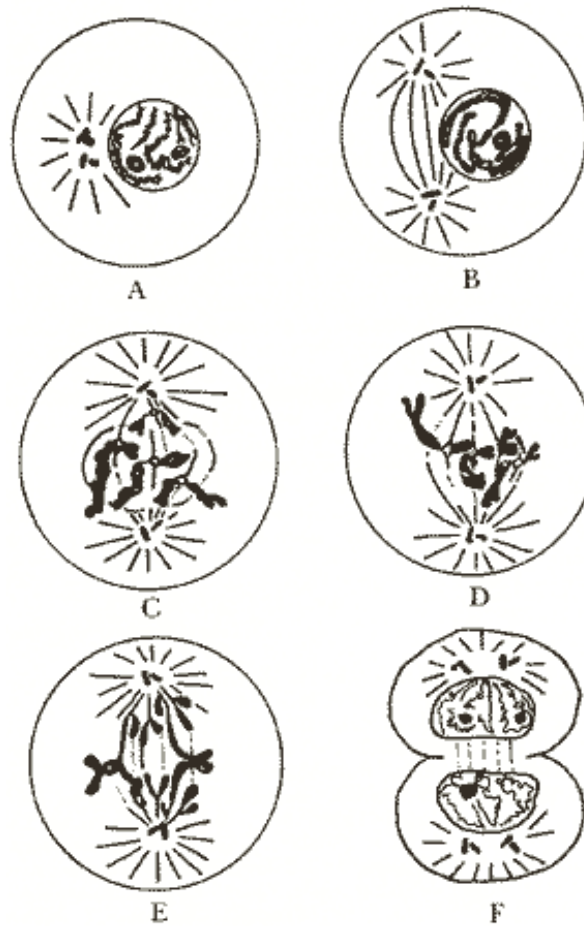


Figura III.17. Esquema de la división celular y de sus fases.

En la *metafase*, el filamento que se formó se fragmenta, dando lugar a una clara definición de los cromosomas, que se ordenan formando la *placa ecuatorial*.

En la *anafase*, etapa siguiente del proceso, se inicia la aparición de los *centriolos*, uno en cada polo celular, de donde irradian estructuras en forma de estrellas, que no son otra cosa que microtúbulos que resplandecen al observarlos. a través del microscopio. En la anafase, los cromosomas que han de corresponder a cada una de las células hijas empiezan a separarse, y un juego emigra hacia cada polo de la célula madre.

Finalmente, durante la *telofase*, o fase final, la porción ecuatorial de la célula se empieza a estrangular para dar lugar a dos células que regresan a su estado original.

Así vemos que no todos los elementos participantes provienen del núcleo de la célula, aunque parezca que el fenómeno tiene su origen en el núcleo y que lleva a la formación de dos nuevas células, habitualmente con las mismas características que la célula madre.

LA SÍNTESIS DE LAS PROTEÍNAS

En el núcleo se llevan a cabo los principales fenómenos relacionados con la transferencia de la información genética y su utilización. En el núcleo se encuentra el DNA, y ahí tienen lugar los procesos de *duplicación* de esta molécula como fase preparatoria a la división celular. Es también en el núcleo donde se realiza la *transcripción*, es decir, la síntesis de las moléculas de RNA que se necesitan para la síntesis de las proteínas. Las moléculas de RNA son enviadas al citoplasma, que es donde tiene lugar finalmente la *traducción* de la información que

contienen, es decir, la síntesis de las proteínas, a partir de la información enviada desde el núcleo. Para realizar estas funciones, el núcleo, además de las moléculas de DNA y las proteínas asociadas a él, debe contar con un buen número de enzimas que se encarguen tanto de la duplicación como de la transcripción (figura III.18). En el núcleo se encuentra también un gran número de efectores que intervienen en la regulación de la síntesis de las proteínas; en este sentido, debemos recordar que hay mecanismos de *inducción* y *represión* de la síntesis de las enzimas y otras proteínas que la célula necesita.

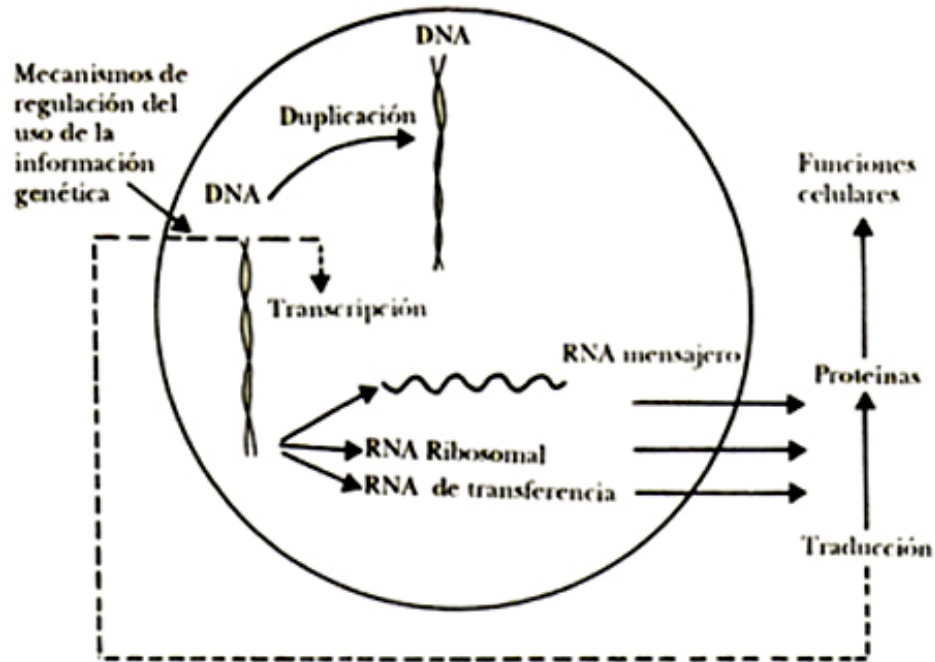


Figura III.18. Esquema que muestra cómo se sintetizan las proteínas, y otras capacidades, como la duplicación del DNA. El esquema y la nomenclatura comparan la síntesis de una proteína con el proceso de descifrar un mensaje que, además, tiene la capacidad de duplicarse.

Para la síntesis de las proteínas, la información genética contenida en el núcleo debe ser transferida al citoplasma, donde debe ser "traducida"; el mecanismo se muestra en la figura III.18. A partir del DNA nuclear, se sintetiza el *RNA mensajero*, que sale al citoplasma para ser utilizado por los ribosomas, convirtiendo la información que trae en proteínas, por un mecanismo muy sencillo: por cada tres nucleótidos del RNA se acomoda un aminoácido, y así se forma una cadena de éstos, que constituye la proteína. Este proceso, como ya se señaló, tiene lugar en el retículo endoplásmico rugoso de las células, e intervienen muchas moléculas y enzimas; hay un *RNA ribosomal*, y otro más llamado *RNA de transferencia*, que participan para ir formando la cadena de aminoácidos, según la información que trae el RNA mensajero.

LA DIFERENCIACIÓN CELULAR

Finalmente, hemos de tener en cuenta que no siempre una célula da lugar a otra exactamente igual. También hay mecanismos de diferenciación que hacen que, a partir de una sola célula, el huevo, resulten células tan diferentes como pueden ser las neuronas, las células musculares, las óseas, los eritrocitos, etcétera.

EL NUCLEOLO

Dentro del núcleo se encuentra también un corpúsculo fácilmente identificable por medios ópticos, el nucleolo. Aunque no se conocen todas sus funciones, sí se sabe que es el responsable de la síntesis del RNA de los ribosomas —el llamado RNA ribosomal— y que es el principal componente de esas partículas, que a su vez son las responsables de la síntesis de las proteínas.

EL CITOSOL

El citosol no es un organelo, ni puede considerarse como tal; sin embargo, debemos tener presente que no se trata de un simple ambiente inerte que sirva sólo de asiento a los organelos y otras estructuras celulares. El citosol es en primer lugar el componente más extenso de la célula, y contiene una cantidad enorme de enzimas, muchas de las cuales funcionan de manera concertada para constituir vías metabólicas. Por otra parte, el citosol es el paso obligado en el camino de tantos miles de moléculas que van de uno a otro componente de la célula.

Entre los caminos metabólicos que tienen lugar en el citosol se encuentra la glucólisis, que es una serie larga de reacciones que convierten a la glucosa en ácido pirúvico o láctico en algunas células, o en alcohol etílico en otras, por ejemplo, en las levaduras. Es ahí donde tienen lugar los cambios necesarios para llevar a muchas moléculas o sus partes hacia el ciclo de los ácidos tricarboxílicos.

Cuando las proteínas, o parte de sus componentes se convierten en azúcares, como sucede durante periodos de ayuno prolongados, utilizan gran parte de la misma vía en un proceso que se llama gluconeogénesis, que también tiene lugar en el citosol. La síntesis de los ácidos grasos sigue un camino que está organizado como un complejo multienzimático (supramacromolecular) y que se encuentra en el citosol. Las fases preparatorias para utilizar los aminoácidos en la síntesis de las proteínas se realizan en el citosol. Estos son sólo unos cuantos de los cientos de caminos metabólicos que siguen para producir los varios miles de moléculas que constituyen a las células. En la figura III.19 se presentan algunos de ellos.

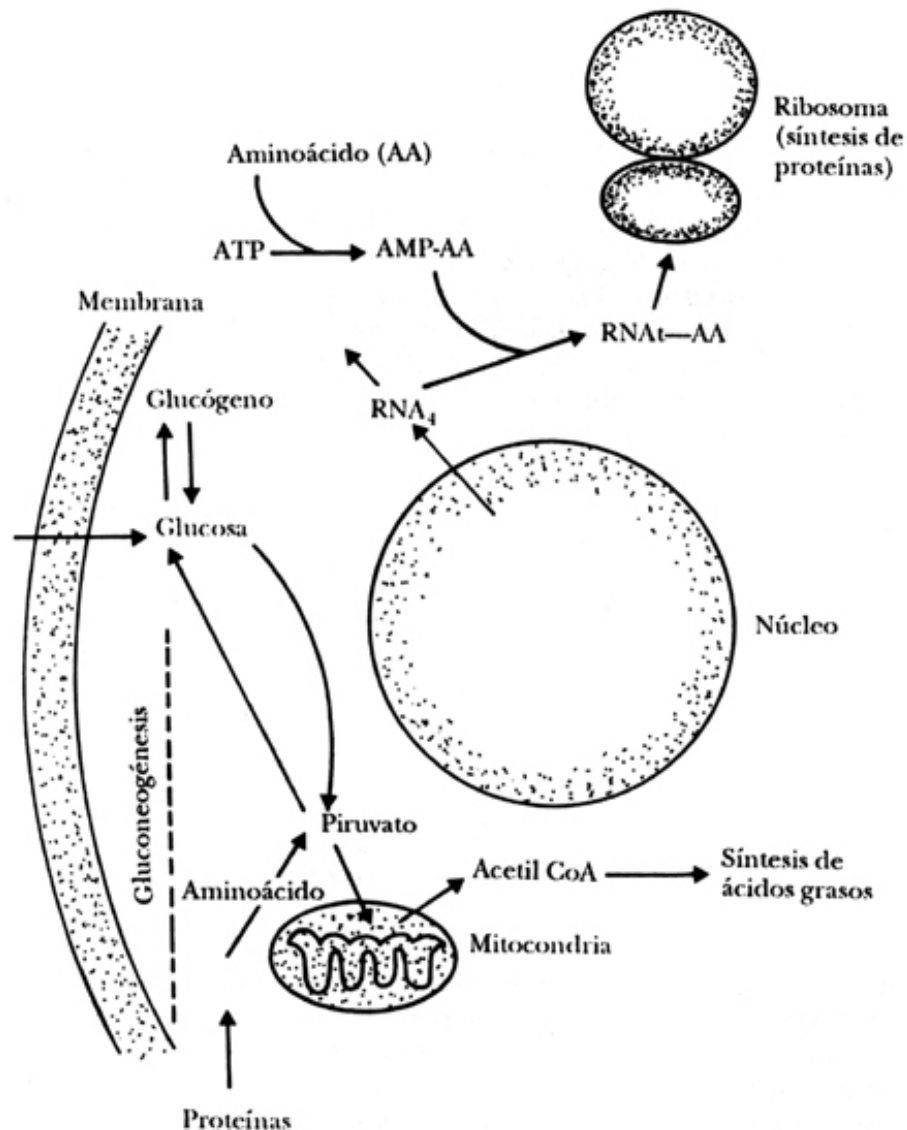
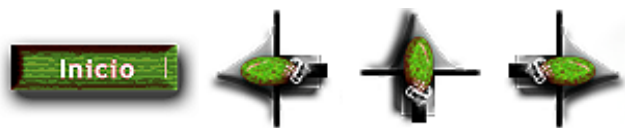


Figura III.19. Esquema de algunas de las vías metabólicas que existen en el citosol.

No obstante el tamaño de una célula, lo descrito en este libro representa sólo una pequeñísima parte de las miles de reacciones que ocurren en su interior; su organización y sistematización son tales, que permiten que en tan diminuto espacio se lleve a cabo uno de los fenómenos naturales más complicados: la vida.



IV. LA ESPECIALIZACIÓN CELULAR

EN LOS capítulos anteriores hemos descrito muchas funciones celulares de distintos tipos, pero quizá hemos dejado la impresión de que las células son todas iguales, o al menos muy semejantes. Por un lado, esta es la situación de los organismos unicelulares, o de los casos más sencillos de organización multicelular, como en las esponjas; en estos organismos, millones de células iguales se agrupan para formar un "organismo", que en realidad no es tal, sino una asociación de células iguales. Sin embargo, a medida que los organismos se vuelven más complicados, se va produciendo la distribución del trabajo entre distintos tipos de células, y éstas deben a su vez especializarse para realizar con mayor eficiencia las funciones que les han sido encomendadas dentro del concierto de todo el organismo.

La especialización, independientemente de que puede reconocerse por las manifestaciones fisiológicas, o de comportamiento macroscópico, tiene una representación bioquímica o molecular, que en muchos casos se conoce con cierto detalle. A manera de ejemplos se describen a continuación algunas de las principales propiedades que distinguen en su funcionamiento y en su estructura a algunas células.

LOS ORGANISMOS PROCARIOTES

Después de los virus, que son propiamente seres vivos, sino una especie de agregados moleculares que dependen de distintos tipos de organismos vivos para reproducirse y manifestar ciertas actividades muy limitadas (véase el capítulo I), tenemos a los procariotes, que sí tienen vida propia y cuentan con una gran diversidad de especies y una enorme capacidad funcional. Una bacteria, por ejemplo, puede vivir aislada si se encuentra en condiciones adecuadas para nutrirse y realizar con éxito su reproducción. Una de las características de los procariotes, además de que todas las células de una especie son semejantes, es que representa el mínimo de elementos estructurales y funcionales y con vida independiente, al grado que, por ejemplo, no tienen siquiera un núcleo, sino una especie de agregado molecular en el que se encuentra el DNA habitualmente en un solo cromosoma.

Un procariote, para transformar su energía, dispone de su propia membrana externa, y no de la mitocondria ni del cloroplasto, que en las células eucariotes son las estructuras especializadas para la fosforilación oxidativa o la fotosíntesis.

Los procariotes, sin embargo, a pesar de que no tienen una estructura complicada a simple vista, tienen una diversidad de funciones que difícilmente podemos imaginar "contenida" en tan pequeñas dimensiones. Una bacteria o un bacilo son verdaderas obras de arte y maravillas de acomodo de miles de moléculas que interactúan de forma ordenada para producir también miles de cambios en cada instante.

Es tal la complejidad del funcionamiento de los procariotes, que admira, por ejemplo, la capacidad que algunos microorganismos han tenido para atacar al hombre. A pesar del desarrollo de la ciencia y la medicina, aún tenemos enfermedades infecciosas de animales, plantas y humanos que están muy lejos de poderse controlar.

LOS EUCARIOTES

Los eucariotes, por el contrario, son células mucho más organizadas; se piensa que provinieron de la evolución de los procariotes. Su característica principal es que cuentan con una estructura celular bien definida; de hecho, el nombre significa que tienen un núcleo claro y bien estructurado. Hay una gran cantidad de especies de eucariotes unicelulares, unos de utilidad para el hombre, como las levaduras, y otros dañinos, como los microbios que producen el paludismo, la amibiasis y muchas otras enfermedades.

LOS ORGANISMOS UNICELULARES

Como ya se mencionó, hay una gran diversidad de microorganismos independientes unicelulares. Revisemos algunas de sus características más interesantes.

Las levaduras son microorganismos unicelulares de tipos muy diferentes; pertenecen a los hongos, y cuentan con muchas especies distintas. Tal vez las más conocidas sean las que se utilizan para la elaboración del vino, la cerveza y el pan, que pertenecen al género *Saccharomyces*. La utilidad de la levadura se remonta a épocas

bíblicas, cuando no se sabía nada acerca de su naturaleza. Se dice que Noé descubrió por casualidad el vino; también se cuenta que una mujer de la misma época dejó descuidada la masa de trigo, y se encontró con que se había inflado, y al cocerla dio lugar a un producto más esponjoso y apetecible que la harina con agua y cocida. El proceso de elaboración de la cerveza es más complicado; se requiere germinar la cebada y prepararla en forma de malta para luego fermentarla con levadura.

Con el paso de los años y los siglos, los procedimientos se fueron perfeccionando para lograr mejores productos. La diversidad de panes que hay en el mundo es increíble. La elaboración del vino alcanza grados admirables de complejidad y hay miles de cervezas distintas.

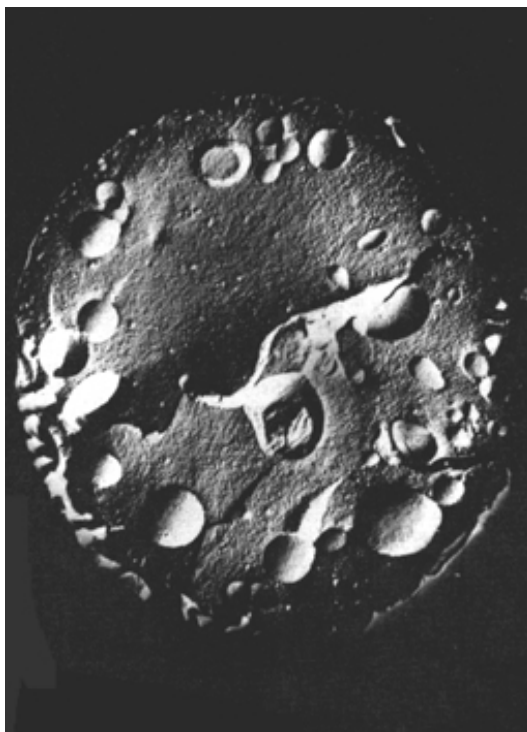
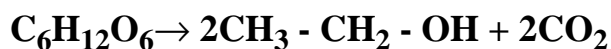


Figura IV.1 Micrografía electrónica de una levadura.

Nos podemos preguntar ahora cómo es que la levadura interviene en la elaboración de estos productos. Como ya se mencionó en el capítulo II, la forma en que la levadura degrada la glucosa y otros azúcares difiere de la manera en que lo hacen los animales; de cada molécula de glucosa produce dos de alcohol y una de bióxido de carbono:



El alcohol es el componente principal de vinos y cervezas; el sabor particular de cada uno depende del material que se utilice para fermentar y de la cepa de levadura; además de los vinos de uva, los hay de miel, y se les puede preparar de distintos tipos de materiales azucarados. Hay igualmente una gran cantidad de otros materiales fermentados; nada más en nuestro país existen el pulque, el pozol, el tesgüino, el tepache, etc. Hay otro proceso que se agrega a la fermentación y que permite la elaboración de más bebidas alcohólicas: se fermenta casi cualquier material que contenga azúcares o almidones, como el jugo de caña, la papa, el maíz, el trigo, la cebada, etc., y luego se destila el fermentado para evaporar y condensar el alcohol, el cual se evapora como una mezcla de agua, 40% de alcohol y otros materiales volátiles, que le dan un sabor variable. De este procedimiento se obtienen los licores como el coñac, el ron, el tequila, etc., que no son en realidad sino soluciones de alcohol al 40%, con distintos aromatizantes.

El pan se produce por la sencilla razón de que las levaduras fermentan los azúcares de la masa, y el bióxido de carbono (que es un gas) queda atrapado. Al cocer la masa, las pequeñísimas burbujas del gas se dilatan y hacen

que el pan se esponje.

Sin embargo, no fue sino hasta principios del siglo XIX cuando Schwann, en Alemania, descubrió que el material que se utilizaba para producir todas estas fermentaciones era un organismo vivo. Sin embargo, no fue fácil convencer a nadie de esta realidad; sus afirmaciones le valieron prácticamente la enemistad de los mismos científicos de la época, como Liebig, también alemán y sabio de gran influencia. Hubieron de pasar muchos años para que Pasteur hiciera sus célebres estudios sobre la fermentación en la producción de la cerveza francesa. Sus resultados fueron relativamente sencillos; encontró que la mala calidad de la cerveza de su país (incapaz de competir con la alemana) se debía a que durante las fermentaciones se producían contaminaciones con otros microorganismos, que malograban el proceso. Sus descubrimientos llevaron a mejorar la cerveza francesa, aunque no al grado de la alemana.

Hacia finales del siglo XIX, Buchner, también alemán, encontró que era posible romper las células de levadura y todavía lograr la fermentación. Fue entonces cuando surgió el planteamiento de que la fermentación era producida por ciertas sustancias, que se llamaron enzimas (que quiere decir "de la levadura"), capaces de convertir la glucosa en alcohol por medio de una serie de pasos secuenciales. Este descubrimiento estimuló a muchos otros investigadores, que poco a poco lograron definir todas y cada una de las reacciones de la fermentación. En realidad éste fue el nacimiento de la *bioquímica*.

Después, otros estudios llevaron a descubrir que la degradación de la glucosa es semejante en los animales. Karl Neuberg encontró también que la levadura, en condiciones especiales, puede producir glicerol, que se usó para fabricar nitroglicerina en la primera Guerra Mundial. Había nacido la *biotecnología*, pero también el mal uso que frecuentemente hacemos los humanos de nuestros conocimientos.

Durante muchos decenios, sabios de todo el mundo continuaron estudiando a la levadura por curiosidad; muchas industrias mejoraron sus procesos productivos de bebidas y de pan; actualmente, en el mundo se producen miles de toneladas de estas células maravillosas, que tan extraordinarios productos nos brindan.

Ya en épocas más recientes se ha encontrado que la levadura también se puede utilizar para producir sustancias muy diferentes a ella, al introducirle, por técnicas de ingeniería genética, genes de enzimas de otras células. Es indudable que falta mucho por conocer en relación con estos microorganismos.

Hay también otros microorganismos benéficos para el hombre, como algunas algas microscópicas. En México, por ejemplo, existe el caso de la espirulina, que se utiliza como complemento de la alimentación. Desafortunadamente se exageran sus propiedades y se pretende, sin razón, que una cápsula sustituya a una buena alimentación.

Pero así como hay organismos unicelulares buenos, los hay malos; dentro de los propios hongos hay algunos que atacan al hombre y a los animales. Tanto la medicina humana como la veterinaria tiene un capítulo especial, la micología, dedicado al estudio de las micosis, enfermedades producidas por distintas especies de hongos: las tiñas, el pie de atleta, la actinomicosis y muchos otros padecimientos.

Los protozoarios, otro tipo de organismos unicelulares, incluyen muchas especies de parásitos, es decir, organismos que no tienen la capacidad de vida libre, y que por lo tanto deben vivir a expensas de otros seres vivos.

He aquí las características de los protozoarios dañinos y de los efectos que producen en humanos y animales:

Las amibas. Invaden nuestro organismo y se asientan en el intestino, en el cual producen ulceraciones y daño. También pueden establecerse en otros órganos como el hígado y producir lesiones extensas en él.

Los plasmodios. Son microorganismos que producen el paludismo y tienen la particularidad de introducirse en nuestro organismo, alojarse dentro de nuestros glóbulos rojos y destruirlos. Esta es también una de las enfermedades más importantes que aquejan a los humanos.

LOS ORGANISMOS PLURICELULARES

Finalmente llegamos a los organismos pluricelulares, que desde los más sencillos, cuentan con ventajas que les

fue dando la evolución, al agregarse células y sufrir el proceso llamado *diferenciación*. Por medio de éste, durante las divisiones sucesivas de el huevo, la célula de la que provienen todas las células de un animal o planta, se producen cambios que vienen programados en el DNA, que dan lugar a cambios en la forma, el comportamiento y la bioquímica de los distintos tipos celulares. Pero estos cambios no se efectúan por simple azar; dan lugar a ventajas de la asociación de distintos tipos de células y la reunión de verdaderas especialistas en determinadas funciones produce un organismo con capacidades enormemente mayores. Esto lo apreciamos mejor si pensamos en el grado máximo de especialización que ha logrado el ser humano frente a los demás organismos vivos.

UNA CÉLULA MUSCULAR

En la figura IV.2 se presenta la micrografía electrónica de un corte longitudinal y otro transversal de un músculo de los llamados *estriados* o esqueléticos, que corresponden al tejido muscular voluntario de los animales. Resaltan dos tipos de estructuras: en primer lugar un material fibroso de disposición regular en las miofibrillas, constituido con microfilamentos que en el corte longitudinal muestran una estructura definida en bandas claras, alternadas con bandas oscuras. En la misma figura se señala la nomenclatura de las diferentes zonas que se ven en el corte longitudinal. Otro de los detalles importantes que se observa en la micrografía electrónica, es la distribución uniforme y repetida de formaciones de una red tubular, llamada retículo endoplásmico, entre las miofibrillas. Rodeando a éstas se encuentra el material que representaría al citosol de otras células, y que en el músculo recibe el nombre de sarcoplasma. Además de las estructuras mencionadas entre las miofibrillas se encuentra también un número variable de mitocondrias, dependiendo del músculo de que se trate; mientras más activo es el músculo, mayor cantidad de estos organelos hay, y más uniforme es su arreglo alrededor de las miofibrillas.

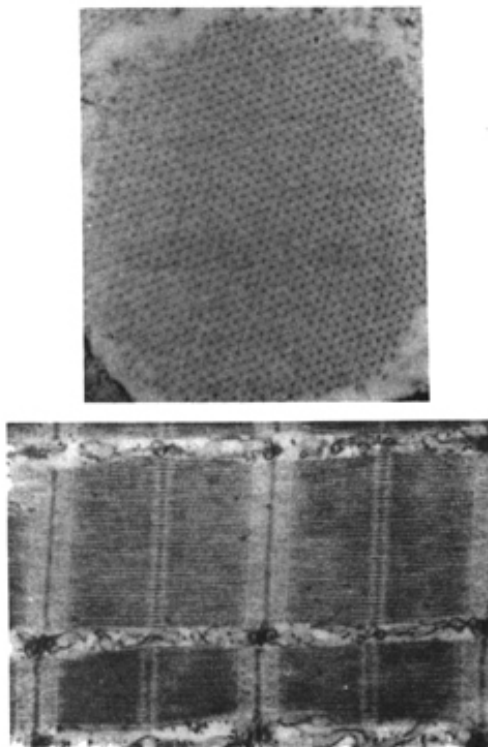


Figura IV.2. Micrografía electrónica de una fibra muscular, en la que se aprecian los microfilamentos, que son los elementos contráctiles del músculo.

En la figura IV.3 se muestra luego la composición de las unidades de un músculo; las zonas I se alternan con las zonas A, para las que también se ha descrito una estructura definida; pero lo importante es que ambas están formadas por microfilamentos, y representan una especialización de éstos, imbricados o empalmados unos sobre otros, los filamentos gruesos de la zona A y los delgados de la zona I, ambos fijados por sus extremos a una especie de placa común.

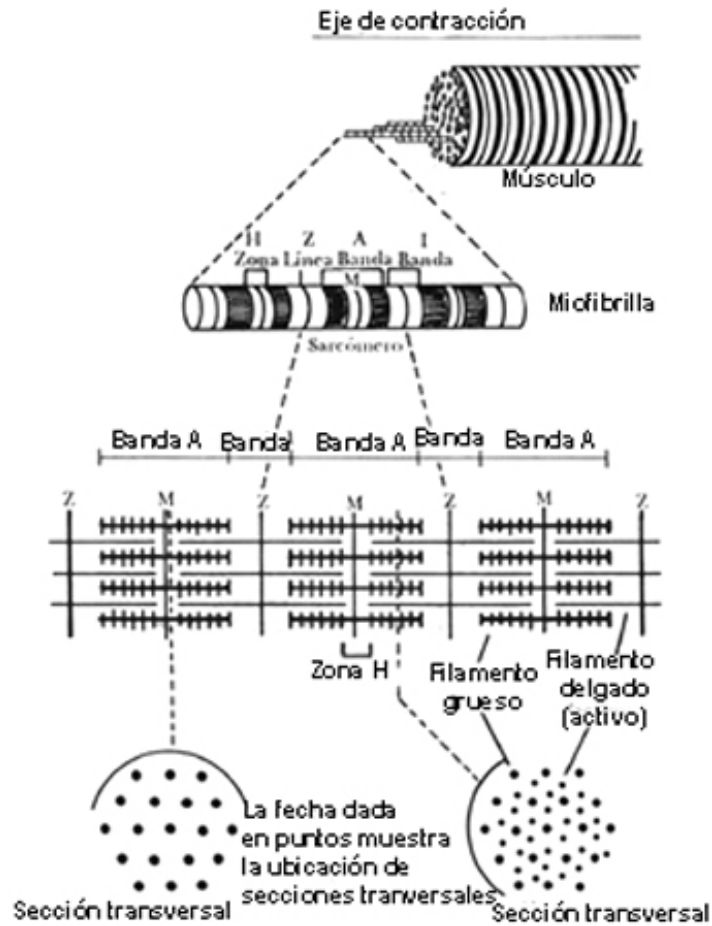


Figura IV.3. Representación de las unidades funcionales de una fibra muscular, en donde se muestra más claramente su funcionamiento.

Si se separan las proteínas de un músculo se encuentra una proporción importante de dos componentes, la actina y la miosina, que forman un complejo entre ellas denominado actomiosina. Estas dos moléculas asociadas son capaces de romper al ATP, para dar ADP y fosfato inorgánico, produciendo al mismo tiempo el acortamiento de esta estructura fibrilar. Los estudios realizados han propuesto el esquema que se representa en la figura IV.4. Según la teoría, la miosina tiene la actividad de ATPasa (rompe al ATP para dar energía), y se encuentra asociada con la actina de tal modo que cuando se rompe el ATP, la energía del enlace fosforilado se utiliza para que las dos moléculas se deslicen una sobre otra, produciendo el acortamiento del complejo molecular.

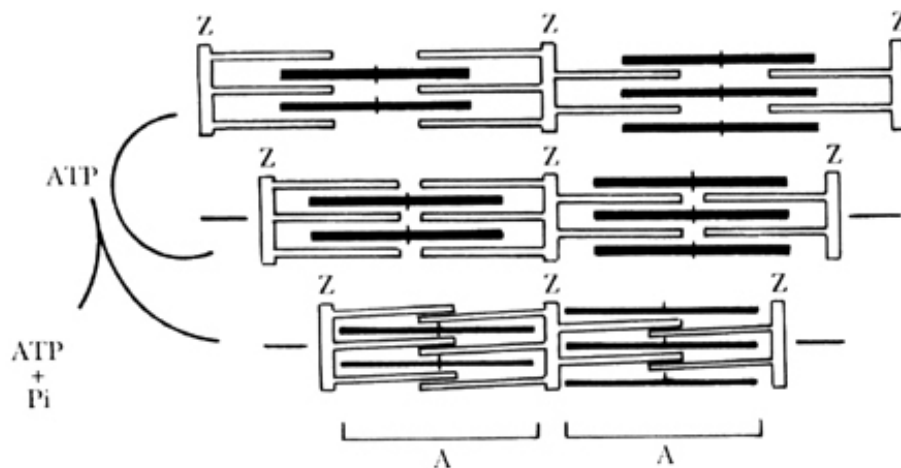


Figura IV.4. El mecanismo de la contracción de una fibra muscular.

Si se toma en cuenta que un músculo está formado por millones de unidades de este tipo, no es difícil extrapolar lo que sucede con la asociación actina-miosina en el órgano completo y aceptar el modelo propuesto.

Resta por describir el mecanismo que se ha propuesto para explicar la producción de la contracción muscular ante la llegada de una señal, o sea una orden transmitida del cerebro u otras zonas del sistema nervioso por una fibra nerviosa para que se inicie el proceso.

Como se ve en la figura IV.5, las unidades de que está compuesto el músculo tienen una distribución especial y regular del retículo endoplásmico. Este sistema posee la capacidad de capturar al calcio (Ca^{2+}) del sarcoplasma, de manera que en éste, durante el reposo, su concentración es muy baja. En el momento en que llega a la célula un impulso nervioso, se produce un cambio eléctrico en la membrana, y ello da lugar a que el retículo sarcoplásmico libere al sarcoplasma parte del calcio que tiene. La hidrólisis o ruptura del ATP por la miosina requiere del calcio, de manera que la liberación de éste parece ser la que realmente desencadena la actividad de la miosina y la contracción muscular.

El mecanismo de la relajación, es decir, la interrupción de la contracción, es muy sencillo; cuando cesa el estímulo nervioso, el retículo sarcoplásmico vuelve a su estado anterior y por mecanismos especiales, captura el calcio que había liberado. Al disminuir la concentración de éste, que se requiere para que la miosina rompa al ATP y se contraiga, se detiene también la contracción de la fibra muscular, como se representa en la figura IV.5.

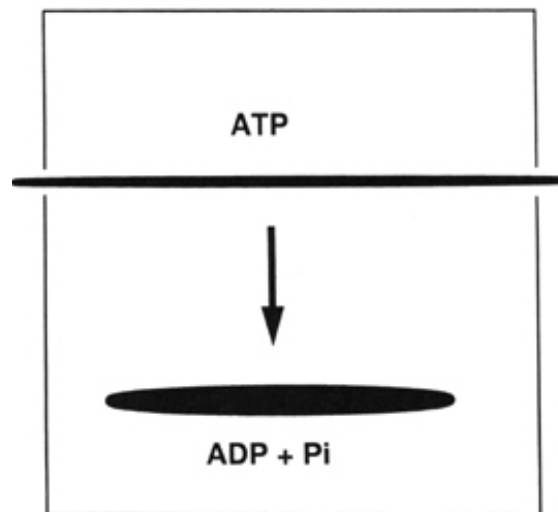


Figura IV.5. Al llegar un impulso nervioso, con la orden de contraer al músculo, la liberación de iones de calcio (Ca^{2+}), que se requiere para que la actomiosina hidrolice al ATP, es la que realmente desencadena la contracción.

Mediante estos procesos, descritos en forma simplificada, los seres vivos cuentan con uno de los sistemas más eficientes que se conocen para transformar la energía química (del ATP) en energía mecánica. Ninguna máquina construida por el hombre reúne la velocidad de respuesta, ni la necesidad de una señal tan pequeña para funcionar, ni la eficiencia para transformar una energía en otra. El músculo, con su sistema de microfilamentos, es sólo un ejemplo de este tipo de mecanismo; dentro de los cuales hay otros sistemas de movilización celular, como los de los pseudópodos y el movimiento amiboide, que existen en muchas células de organismos unicelulares y pluricelulares.

LAS CÉLULAS NERVIOSAS

Probablemente el grado máximo de especialización de una célula esté representado por las neuronas, que se encargan casi fundamentalmente de transmitir y modular la transmisión de los impulsos nerviosos. La naturaleza se vale de este mecanismo, aparentemente sencillo, y conecta unas células con otras, para integrar el funcionamiento de sistemas que pueden ser tan sencillos como un arco reflejo, constituido por dos neuronas, o tan complicadas como los procesos racionales, la percepción, etcétera.

La figura IV.6 es la representación de una neurona típica; se trata de una célula que cuenta con un cuerpo, donde se encuentra el núcleo, y una serie de prolongaciones, unas cortas llamadas dendritas, y otras más largas llamadas axones. Las primeras se encargan de recibir los impulsos nerviosos y las segundas de conducirlos y transmitirlos. Las terminaciones nerviosas, axones y dendritas, permiten a las células establecer conexiones entre sí. De esta forma se integran circuitos —desde los más sencillos hasta los muy complicados— por la conexión de muchísimas de ellas, mediante uniones que establecen las terminaciones mencionadas, y que reciben el nombre de sinapsis. Las sinapsis representan sitios especializados que se forman entre las terminaciones de una neurona y la superficie de otra, y son capaces de establecer conexiones entre ellas, al permitir el paso del impulso nervioso, habitualmente en un solo sentido.

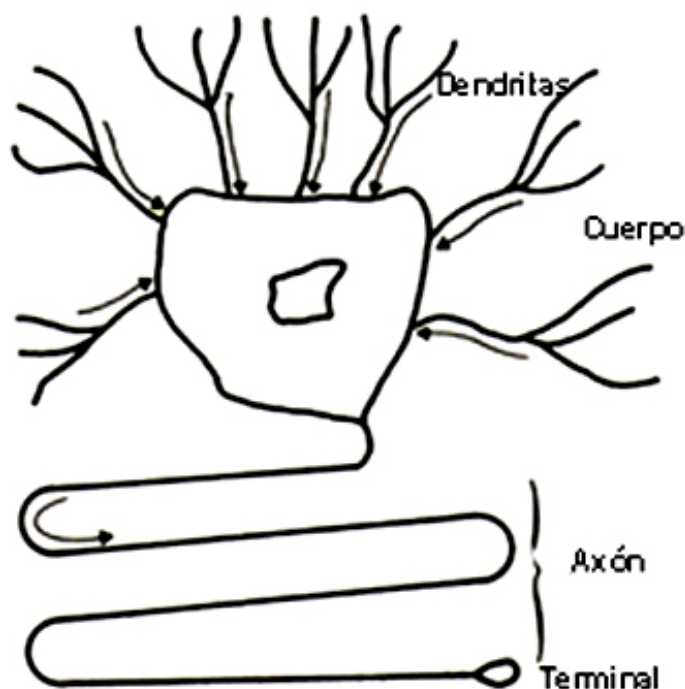


Figura IV.6. Representación de una neurona.

Las células nerviosas deben su principal característica a sus membranas, que son las responsables de la conducción del impulso nervioso o corriente nerviosa. Si se introduce un microelectrodo finísimo, hecho de un tubo de vidrio estirado al calor, en el axón de una célula nerviosa, y se coloca otro en el exterior, se observa una diferencia de potencial (voltaje) de aproximadamente 90 milivoltios (casi 0.1 voltios). La figura IV.7 muestra el origen de ese potencial; la membrana, que se encuentra rodeada por un medio rico en iones de sodio (Na^+), y pobre en iones de potasio (K^+), cuenta con un sistema de transporte, una ATPasa, que al romper moléculas de ATP para dar ADP y fosfato y con la energía obtenida de la reacción, es capaz de expulsar tres iones de sodio al exterior e introducir dos iones de potasio. La distribución desigual de estos iones, y la tendencia a salir de los de potasio, son las responsables de que se establezca el potencial eléctrico antes mencionado.

Además del sistema de generación del potencial eléctrico hay también en la membrana un par de canales específicos, capaces de permitir la salida del potasio y la entrada del sodio, y así producir la descarga del potencial que se había generado durante el reposo (figura IV.7). En otras palabras, la conducción del impulso nervioso es una onda que se mueve a lo largo de las terminaciones nerviosas, en la cual los iones de sodio entran y los de potasio salen de la terminación nerviosa. Este sencillo mecanismo es la base de la conducción del impulso nervioso. Una vez que el impulso pasa, hay una ATPasa, que con su capacidad de "bombear" iones restituye el potencial que se había perdido o disminuido.

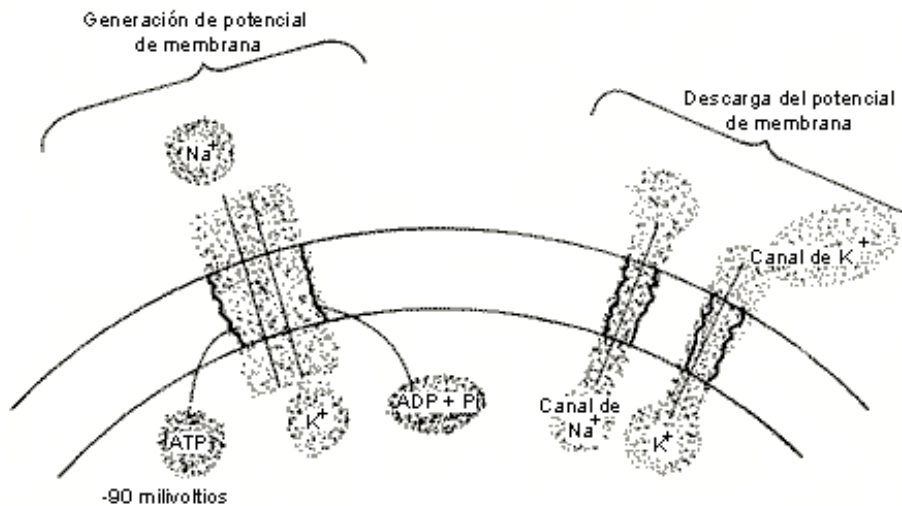


Figura IV.7. El potencial eléctrico de una célula nerviosa, su origen y su utilización para la conducción nerviosa. Ésta no es sino la propagación de una onda de disipación del potencial, originada por la salida del potasio previamente expulsado, por canales iónicos específicos.

Al llegar el impulso nervioso al extremo del axón, mediante el contacto que existe con otra neurona, a través de una sinapsis, se transmite por un mecanismo que puede ser eléctrico o químico. En el caso del mecanismo eléctrico, simplemente se transmite de una neurona a otra la depolarización, pasando el impulso de una célula a otra. En muchos otros casos, cuando el impulso nervioso llega la sinapsis, en lugar de transmitir la depolarización directamente, de la terminación llamada presináptica produce la liberación de sustancias químicas específicas, que varían de unas neuronas a otras en las distintas regiones del sistema nervioso, y que por su papel reciben el nombre de neurotransmisores. El neurotransmisor liberado al espacio intersináptico es como una señal que captan receptores también específicos de la postsinapsis, los cuales luego dan lugar a una respuesta, que suele ser la generación o el relevo del impulso nervioso, que sigue su camino. En la figura IV.8 se muestra en forma esquemática el mecanismo de la neurotransmisión química.

Como se señala en la figura IV.8, la neurotransmisión química no siempre da lugar a que el impulso nervioso siga adelante; con frecuencia se encuentran sinapsis en las que el neurotransmisor liberado, en lugar de generar un nuevo impulso nervioso en la neurona siguiente, produce un cambio tal que bloquea o disminuye el efecto de otros impulsos llegados de otra u otras neuronas. Este es el caso de los neurotransmisores inhibidores, que actúan como moduladores de la transmisión sináptica, y su importancia reside en que son una especie de "freno" de la transmisión de los impulsos nerviosos, que se regulan por este mecanismo.

En cuanto al mecanismo de la neurotransmisión, como en el músculo, los movimientos de Ca^{2+} desempeñan un papel de gran importancia en el fenómeno. La liberación del neurotransmisor no se produce en un ambiente libre de este catión, y durante la liberación del neurotransmisor se produce la captura de una cantidad de iones de calcio, que guarda relación con la cantidad liberada del primero. Los movimientos del Ca^{2+} , como en el músculo, parecen originarse en cambios de permeabilidad de la membrana, como consecuencia de la depolarización que por la conducción llega hasta la presinapsis.

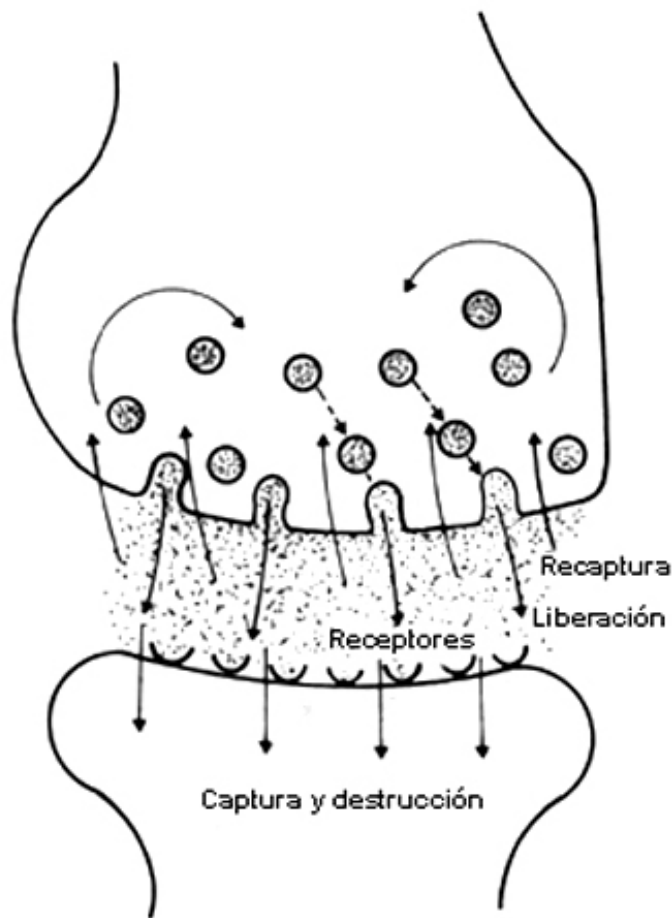


Figura IV.8. La transmisión sináptica.

LAS CÉLULAS SENSORIALES

Las células sensoriales cuentan con una extraordinaria especialización, y en realidad son parte del sistema nervioso y pueden considerarse como neuronas modificadas para la función que requiere el organismo. El caso más sencillo es tal vez el de las células auditivas, que pueden recibir las vibraciones del aire a través de la vibración del tímpano, que se transmite por la cadena de huesecillos del oído externo. Se trata simplemente de células capaces de percibir vibraciones y transformarlas en impulsos nerviosos, que son transmitidos luego a los centros auditivos del cerebro para su procesamiento e integración final para la percepción. El caso de las células del tacto es muy similar, pero se trata de neuronas modificadas que responden a cambios en la presión. En ambos casos, cuando se aplica el estímulo correspondiente, la vibración en las células auditivas o la presión sobre los receptores táctiles, se abren canales iónicos en su superficie que dan lugar a la depolarización de su potencial eléctrico y luego a su transmisión como ondas de esta depolarización a otras neuronas y finalmente al sistema nervioso central.

En el caso del gusto y del olfato existen unos receptores especiales en su membrana, que pueden interactuar con gran diversidad de moléculas en concentraciones variables, mayores para los receptores del gusto, pero sumamente bajas en el caso de los olfatorios. Estos receptores, al recibir el estímulo por interactuar con alguna molécula del medio ambiente o de un alimento, a través de complicados mecanismos también dan lugar al mismo cambio del potencial de la membrana, y luego lo transmiten a otras neuronas y al sistema nervioso central.

Tal vez el caso más asombroso es el de los fotorreceptores, de la retina, por ejemplo. En este caso, como se muestra en la figura IV.9, la luz, al incidir sobre una molécula derivada de la vitamina A, el retinal, lo modifica, y como consecuencia de ello la forma modificada del retinal desencadena una serie de acontecimientos que llevan finalmente al cierre de unos canales del fotorreceptor y a su modificación en la actividad eléctrica, lo contrario de lo que sucede en otros receptores. Esta modificación de la actividad eléctrica también se transmite luego a otras neuronas y se envía al sistema nervioso central.

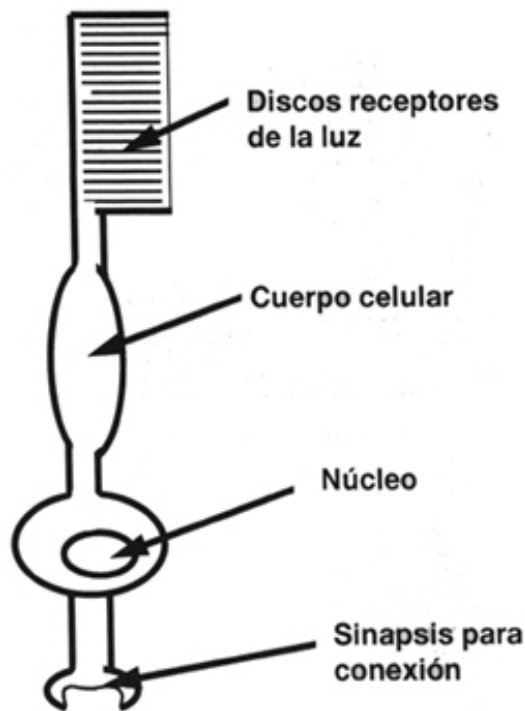


Figura IV.9. El funcionamiento de un receptor de la retina. La luz es capaz de actuar sobre el retinal, parte de la proteína rodopsina, y dar lugar al cierre de los canales de sodio de esas células. Este cambio de potencial de la membrana luego se transmite hacia el cerebro como un impulso nervioso.

Debe quedar claro que ésta es una sobresimplificación de los mecanismos, y que los fenómenos de la percepción son mucho más complicados que lo que aquí se ha descrito, pues no sólo implican la recepción de los estímulos correspondientes a cada uno de los sentidos, sino también la transmisión al sistema nervioso central, su integración y procesamiento para completar el fenómeno global de la percepción.

UNA CÉLULA ADIPOSITA, ¿UNA CÉLULA FLOJA?

Podríamos pensar que las células adiposas sólo almacenan grasa y que su actividad metabólica es casi nula. Pero aunque tiene una escasa cantidad de citoplasma en una pequeña capa que rodea a una gran gota de grasa, su actividad metabólica es intensa, el papel de almacenes de grasa implica también un constante recambio de ésta, prácticamente en cualquier comida, y las células realizan una constante degradación y síntesis de las grasas. El proceso no es sencillo y además requiere de una cantidad elevada de energía, por lo que el tejido adiposo, como muchos otros, también necesita una vascularización profusa. Ésta es una de las razones por las cuales las personas obesas, al perder peso, no sólo pierden grasa, sino también un tejido metabólicamente activo y organizado.

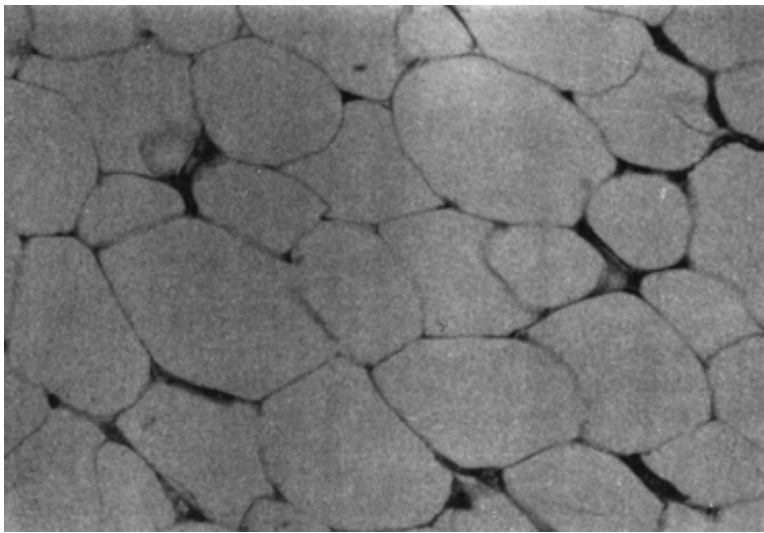


Figura IV.10. Una célula adiposa y sus actividades.

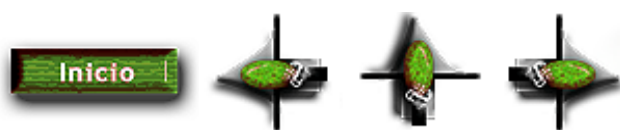
LAS CÉLULAS DEL HÍGADO

Una célula hepática es tal vez la que realiza mayor actividad metabólica en el organismo animal; es el almacén de azúcares entre nuestras comidas, y es la que se encarga de proporcionarla a las demás células cuando no ingerimos alimento, además, en los periodos prolongados de ayuno, puede fabricarla a partir de otros materiales, principalmente los aminoácidos. El hígado es también el principal sitio de degradación de las moléculas de grasa; las rompe en fragmentos más pequeños y los distribuye, principalmente al músculo. También tiene como papel el hepatocito, la síntesis de muchas proteínas para el plasma sanguíneo. El hígado es el sitio principal de destrucción o neutralización de sustancias propias del organismo, pero también de otras extrañas a él, como tóxicos, medicamentos, etcétera. La especialización del hígado es tal, que puede considerarse como el órgano metabólico por excelencia.

OTRAS CÉLULAS

Los ejemplos que hemos mencionado no son sino una pequeña parte de las especializaciones que existen. He aquí algunos más. Las células renales tienen como papel filtrar nuestra sangre mediante complicados mecanismos de intercambio de muy diferentes sustancias. En las plantas, las células de las raíces tienen también mecanismos de gran eficiencia para capturar del suelo agua y sales. Un fenómeno semejante ocurre con las intestinales. Están también las células de nuestras glándulas, especializadas en la producción y liberación de hormonas muy diversas.

A fin de cuentas, la descripción de la célula que se realizó en la mayor parte de este pequeño libro es sólo un esquema alrededor del cual la naturaleza ha hecho cambios extraordinarios que le permiten realizar funciones tan diversas como las descritas. No obstante el tamaño de cada una de las células, es casi inimaginable y hasta ahora en gran parte desconocida la cantidad, variedad y precisión de las funciones que pueden introducirse en estructura tan pequeña, con moléculas mucho más pequeñas, organizadas mediante una estructura y organización asombrosas.



Inicio

REFERENCIAS

Estos libros ofrecen la posibilidad de profundizar en lo tratado en este libro. Los primeros son de divulgación, o muy sencillos, y los dos últimos más especializados.

Peña, A. *Las membranas de las células*. La Ciencia desde México. Fondo de Cultura Económica, SEP , CONACYT , México, 1986.

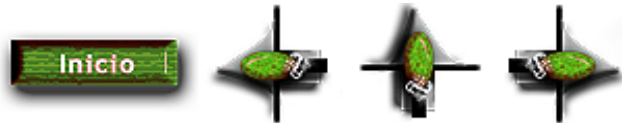
Peña, A. y G. Dreyfus. *La energía y la vida*. La Ciencia desde México. Fondo de Cultura Económica, SEP , CONACYT, México, 1990.

Peña, A. *Fisiología I*. Consejo Nacional para la Enseñanza de la Biología, Editorial Continental, México, 1983.

Peña, A. *Química biológica*. Consejo Nacional para la Enseñanza de la Biología. CECSA , México, 1983.

Laguna, J. y E. Piña. *Bioquímica*. La Prensa Médica Mexicana, México, 1990.

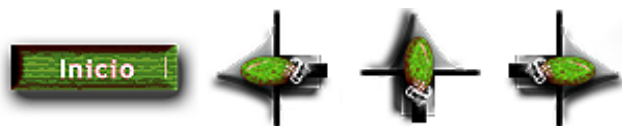
Peña, A., A. Arroyo, A. Gómez-Puyou, C. Gómez y R. Tapia. *Bioquímica*, segunda edición. Limusa, 1988.



COLOFÓN

Este libro se terminó de imprimir en el mes de mayo de 1995 en la Impresora y Encuadernadora Progreso, S. A. de C.V. Calzada de San Lorenzo 244; 09830 México, La formación y la composición la hizo *Miguel Navarro Saad*. Se tiraron 7 000 ejemplares.

La ciencia desde México es coordinada editorialmente por MARCO ANTONIO PULIDO Y MARÍA DEL CARMEN FARÍAS.



CONTRAPORTADA

A partir de la invención del microscopio se inició el estudio, entre otras cosas, de las funciones celulares que, para los seres humanos, revisten importancia especial pues necesitan entender en qué forma se efectúan las distintas operaciones de los tejidos, órganos y sistemas. Al uso del microscopio se sumó, el siglo pasado, el estudio de la composición química de los organismos vivos y se llegó a definir infinidad de compuestos de tejidos de complejidades diversas que podían ser aislados de los organismos vivos. Se generó así una zona vasta del conocimiento; la química orgánica. Al mismo tiempo, con el desarrollo de microscopios más refinados se avanzó en la descripción de la estructura de los microorganismos, los tejidos animales y vegetales y, por supuesto, de su componente unitario: la célula; con paciencia infinita fue descubriéndose la imagen de los componentes celulares, mas sólo reciente mente se asignó a cada uno la función que desempeñan.

Este libro acerca al lector al conocimiento de algunas de las funciones generales de las células de modo que pueda asomarse al mundo maravilloso de las estructuras y al acomodo de las funciones tan extraordinarias que tienen cabida en un espacio tan pequeño y que comprenden una serie gigantesca de transformaciones químicas, y gran número de interacciones de sus moléculas, mundo en el cual no es posible ya diferenciar entre la bioquímica, la biología molecular y la fisiología de las células.

El doctor Antonio Peña es médico cirujano y obtuvo en la UNAM su doctorado en bioquímica. Escribió en la Ciencia desde México *Las membranas de las células* (núm. 18). Es investigador emérito del Instituto de Fisiología Celular, del que también fue director. Ha sido presidente de la Academia de Investigación Científica y de la Asociación Panamericana Bioquímica.

