

# LA ENERGÍA Y LA VIDA



*Autores:*

*ANTONIO PEÑA  
GEORGES DREYFUS*



*La energía y la vida. Bioenergética*

Atonio Peña / Georges Dreyfus

Fuente:

**La Ciencia para todos**



Digitalización y maquetación:

Demófilo

2021

Esta obra se edita en formato digital con una finalidad exclusivamente cultural, sin ánimo alguno de lucro comercial o de otro tipo.



---

Biblioteca Libre

**OMEGALFA**

2021

Ω

**Antonio Peña / Georges Dreyfus**

# **LA ENERGÍA Y LA VIDA. BIOTECNOLOGÍA**



Antonio Peña y Georges Dreyfus son doctores en bioquímica e investigadores del Instituto de Fisiología celular de la UNAM. Han publicado en revistas internacionales artículos sobre el transporte de las membranas, los mecanismos moleculares y la regulación de las transformaciones de la energía. Peña fue presidente de la Academia de la Investigación Científica y actualmente es director del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Dreyfus es director del Instituto de Fisiología celular y coordinador del Consejo Académico del Área de las Ciencias Biológicas y de la Salud (CAABYS, UNAM); además, fue becario Guggenheim, ocasión en la realizó estudios sobre el flagelo bacteriano, en la Universidad de Yale.

## **INDICE**

COMITÉ DE SELECCIÓN

EDICIONES

DEDICATORIA ESPECIAL

PRÓLOGO

I. CONCEPTOS GENERALES

II. LA LUZ ES UNA FORMA DE ENERGÍA

III. LA ENERGÍA DEL MUNDO ANIMAL: LOS ALIMENTOS

IV. EN QUÉ SE GASTA LA ENERGÍA

V. LOS ALIMENTOS QUE NOS PROPORCIONAN ENERGÍA

VI. OTROS REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA

COLOFÓN

CONTRAPORTADA

## Comité de selección

Dr. Antonio Alonso Dr. Gerardo Cabañas

Dr. Juan Ramón de la Fuente

Dr. Jorge Flores Valdés

Dr. Leopoldo García-Colín Scherer

Dr. Tomás Garza Dr. Gonzalo Halffter Dr. Raúl Herrera

Dr. Jaime Martuscelli Dr. Héctor Nava Jaimes

Dr. Manuel Peimbert Dr. Juan José Rivaud Dr. Julio Rubio Oca Dr. José Sarukhán

Dr. Guillermo Soberón **Coordinadora:**

María del Carmen Farías

## EDICIONES

Primera edición (La Ciencia desde México), 1990

Tercera reimpresión, 1995

Segunda edición (La Ciencia para Todos), 1997

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra —incluido el diseño tipográfico y de portada—, sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico, sin el Consentimiento por escrito del editor.

La Ciencia para Todos es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Secretaría de Educación Pública y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

D.R. © 1990 FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, SA. DE C.V. D.R. ©

1997 FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

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

ISBN 968-16-5229-0

Impreso en México

## **Dedicatoria especial**

Antes de iniciar el prólogo, los autores queremos dedicar este pequeño volumen a la memoria de Alejandra Jáidar, quien con su gran entusiasmo nos incitó a participar en la serie *La Ciencia desde México*. El grupo original; y en especial María del Carmen Farías, ha mantenido con gran cuidado y éxito la marcha de este esfuerzo, pero la pérdida de Alejandra ha sido sin duda un duro golpe para la divulgación de la ciencia, y para muchas otras actividades que ella sabía desarrollar e impulsar con extraordinario estilo.

# PRÓLOGO

---

Desde las primeras civilizaciones, y ya en algunas antiguas doctrinas orientales, se planteaba la participación de la energía en los procesos vitales; así, en la India se hablaba de la "fuerza vital", o *prana* de los alimentos, y su relación con la vida. Esta idea, en gran parte mágica, persistió hasta muy avanzada nuestra civilización. Lentamente, y ya adelantado este siglo, fueron modificándose estas ideas hasta llegar a los conceptos actuales. Sin embargo, tales progresos no han llegado al público, y es enorme el desconocimiento que existe sobre el concepto mismo de energía, su cuantificación y manejo por parte de los seres vivos, para dar sólo algunos ejemplos.

El precursor de las ideas verdaderamente modernas y científicas sobre la energía fue Lavoisier, quien hace poco más o menos dos siglos elaboró teorías que hoy en día siguen siendo de actualidad. Pero no fue sino hasta bien avanzado el siglo XX, y en fechas relativamente recientes, que se fueron aclarando una serie de conceptos sobre las transformaciones de la energía en los seres vivos.

Los enlaces químicos de las moléculas de nuestros alimentos deben convertirse en los del adenosintrifosfato, o como se conoce en el lenguaje bioquímico, ATP, moneda casi universal de las células para el manejo de la energía. Pero el proceso es largo y complicado, de suerte que hacer una descripción accesible y más o menos clara fue uno de los principales objetivos de este pequeño libro. Este apasionante campo de investigación no se ha limitado a definir tan solo los mecanismos de las transformaciones energéticas de las células y organismos; también ha tenido incursiones en áreas tan distantes como la evolución. Los seres vivos fueron modificando la atmósfera original de la Tierra, con un elevado contenido de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hasta llevarla al

relativamente elevado contenido de oxígeno de la actualidad. Ha sido también intención del libro llevar al lector hacia otros campos del conocimiento relacionados con las transformaciones de la energía.

Además de señalar los principales aspectos sobre las transformaciones de la energía química, luminosa o de otros tipos, en otras formas directamente aprovechables por las células, quisimos presentar de manera sencilla la relación que hay entre alimentación y metabolismo con los cambios de energía en las células. Asimismo, insistimos en algunos aspectos sobre las cantidades de energía de los alimentos y el balance de la dieta; señalando, de paso, que las vitaminas no tienen valor como fuente de energía.

Al final quisimos revisar otros requerimientos de energía, derivados de la necesidad creciente, aunque variable, de un cierto bienestar en los seres humanos. Aunque no necesarios para mantener la vida, hay muchos elementos adicionales de la vida humana que requieren energía, como el transporte público o privado, o ciertas comodidades tan básicas como un baño de agua caliente, etc. Fue nuestra intención hacer llegar al lector, buscando una forma clara y sencilla, no sólo los conceptos fundamentales sino también algunos otros que podríamos llamar adicionales, sobre la energía, sus transformaciones, y sus múltiples relaciones con los seres vivos.

Este campo es fascinante, pero resulta árido para el público en general y es difícil de tratar en términos sencillos. Hemos intentado divulgar los elementos fundamentales que gobiernan las muy variadas transformaciones que sufre la energía en los organismos vivos.

ANTONIO PEÑA

GEORGES DREYFUS

*Ciudad Universitaria, D.F., septiembre de 1989*

## 1.

### CONCEPTOS GENERALES

---

**T**ODOS los seres vivos mantienen con el medio ambiente un desequilibrio que los aleja de la muerte. Sólo al morir se destruyen las barreras que separan unos compartimentos de otros, la estructura de órganos, tejidos, células, etc. y sólo con la muerte se detiene también la actividad extraordinaria de las estructuras todas, desde aquellas que podemos ver, hasta las que pertenecen al mundo microscópico, o submicroscópico inclusive, de las moléculas que participan en el complejo caminar de los sistemas biológicos. ¿Cómo es que se mantiene este orden que representa la vida? Hay, en primer lugar, una complicadísima serie de instrucciones y mecanismos gracias a los cuales todos los organismos vivos cuentan con la información, no sólo para mantenerla, sino para perpetuarla, transmitiéndola a su descendencia. Esa información, a su vez, debe transformarse primero en la realidad de numerosas moléculas y estructuras que son los ejecutores, o los objetos de tales instrucciones.

Como cualquier proceso natural, el fenómeno de la vida, para mantenerse, requiere una gran cantidad de energía; esto es obvio en el caso de algunos de los procesos vitales como el movimiento; sin embargo, el gasto de energía no nos parece tan claro cuando pensamos, por ejemplo, en la digestión o en el pensamiento mismo. Otro de los asuntos que no es claro para el común de las personas, es de dónde viene la energía; cómo es que los alimentos la contienen y cómo la aprovechamos; cómo es que en un principio viene del Sol y nosotros la aprovechamos, y aunque muchos sabemos que son las plantas las encargadas de esto, en ge-

neral se ignora que hay enormes cantidades de algas, muchas de ellas microscópicas, y bacterias que también pueden capturar la energía del Sol; menos aún se conocen los mecanismos mediante los cuales la energía es capturada por los seres vivos y todavía menos, qué alcances tiene todo esto.

Luego existe el hecho de que los animales, incluyendo al hombre, pueden tomar indirectamente la energía del Sol al ingerir ciertas sustancias que las plantas han acumulado, o a las plantas mismas. De nueva cuenta, al parecer son sólo los especialistas quienes pueden conocer los mecanismos implicados en el aprovechamiento de esta energía necesaria para mantenernos vivos y realizar todas nuestras complicadas funciones.

En suma, toda función implica energía, pero hay numerosos hechos acerca de ella que desconocemos. El conocimiento de todos los procesos que intervienen en las transformaciones de la energía en nuestro organismo, o en general, en los organismos de los seres vivos, es uno de los capítulos más apasionantes de la biología, sobre todo porque en los últimos años se ha podido aclarar buena parte de sus mecanismos.

Es frecuente oír hablar de la necesidad de ingerir alimentos para tener "más fuerzas", "más energía", "potencia", etc. También se habla de que una persona es muy "fuerte", o de que tiene mucha "energía", pero estos términos habitualmente son vagos, y se les utiliza más como sinónimos de actividad que en su verdadera acepción. Si en este pequeño libro hemos de hablar de los procesos que permiten a los seres vivos obtener la energía de los alimentos o del Sol, y de los sistemas que luego la utilizan para diferentes fines, es importante que definamos primero algunos términos; de esa forma será más fácil entendernos en el curso de las páginas de este libro.

**La fuerza.** Tal vez la definición más simple que hay es la más antigua, la cual nos dice que es aquello capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo. Ésta puede ser desde la desarrollada por una mesa que sostiene pasivamente un cuerpo, como una máquina de escribir o un cuaderno, hasta la representada por el empuje de un tractor, o la de un músculo que mueve a la vez un hueso, a manera de palanca, para desplazar o levantar un cuerpo.

**El trabajo y la energía.** Éstos son dos términos equivalentes. El trabajo resulta de aplicar una fuerza sobre un cuerpo y de producir su movimiento a lo largo de un espacio cualquiera, se cuantifica tomando en cuenta la magnitud de la fuerza y el espacio recorrido. La energía es la capacidad, aunque no se haya ejercido, de hacer trabajo; por ejemplo, un coche en movimiento lleva una cantidad de energía que le permite, si se encuentra con algún objeto, moverlo en cierta forma, según la velocidad y la masa o peso que tenga. Ese mismo coche, si yendo a cierta velocidad se topa con un objeto en su camino, realiza trabajo, el cual se puede cuantificar de manera precisa. Hay también energía en un litro de gasolina que al quemarse puede producir el movimiento de un motor, el cual, conectado a las ruedas de un coche, es capaz de desplazar una carga. La energía eléctrica es también del conocimiento común, y resulta aún más clara. Todos sabemos que llega por los cables de la corriente, y que cuando se la utiliza puede realizar trabajo, como el del motor de una lavadora, de una sierra, etc. A lo largo de este pequeño libro veremos que hay muchas otras formas de energía, algunas de las cuales probablemente resulten novedosas para el lector.

**La potencia.** La potencia de una máquina, por ejemplo, es la capacidad que tiene ésta de realizar cierto trabajo, pero en relación con otra dimensión: el tiempo. Así, un coche que

es capaz de subir una cuesta en cinco minutos es mucho más potente que otro que tarda 10 o 15 minutos. Si suponemos que ambos pueden básicamente pesar lo mismo (tienen la misma masa), el trabajo para llevarlos a la parte más elevada de una cuesta es el mismo; sin embargo, la potencia de aquel que tardó cinco minutos es tres veces mayor que la del que tardó 15.

Finalmente, si los conceptos fuerza, trabajo-energía y potencia son diferentes, hay también diferencias en las unidades en que se expresan. Nosotros utilizaremos las unidades de energía-trabajo, las cuales, aunque pueden ser muy diversas, se expresan más comúnmente en el Joule y la caloría. La última representa la cantidad de calor que se requiere para elevar en un grado la temperatura de un gramo de agua. La primera es igual a poco más de cuatro calorías, y fue así denominada en honor al gran científico James Joule, quien realizó un trabajo extraordinario en el campo de la energía. Está además la kilocaloría, caloría grande, o Caloría (con C mayúscula), que es igual a 1 000 calorías pequeñas. Es necesario aclarar, asimismo, que ésta es la unidad que se utiliza sin conocimiento al hablar del valor calórico de los alimentos en la vida diaria.

## EN QUÉ SE "UTILIZA" LA ENERGÍA

Existe aún cierta confusión en cuanto a la energía, y tiene que ver precisamente con los términos que se emplean para expresar que en tal o cual proceso "interviene" la energía, se "utiliza", o "se gasta". Es de gran importancia señalar que hay una ley (la cual corresponde a una realidad) que establece que la energía de un sistema no se crea ni se destruye, sino que se transforma. Tal vez con un ejemplo se pueda exponer con mayor claridad el asunto: si un coche gasta tal o cual cantidad de gasolina para subir con un determina-

do número de pasajeros a una montaña lo que sucede es lo siguiente:

1.- La gasolina, que es un compuesto formado por carbono e hidrógeno, contiene energía química en su molécula, que hace millones de años resultó de la *transformación* de la energía luminosa del Sol en la energía de los enlaces químicos de este compuesto.

2.- Al quemarse esta sustancia, lo que realmente sucede es la combinación de sus elementos con el oxígeno del aire, para dar como resultado la siguiente reacción:



Pero esta ecuación sólo muestra la transformación de los materiales; sabemos, por otra parte, que tiene un componente muy grande de energía. Si la reacción se produce quemando la gasolina en un espacio abierto, esa energía se percibe claramente en forma de calor. Si usamos la gasolina para mover un motor de combustión interna, lo que de hecho sucede es que la energía se *transforma*, por una parte, en energía mecánica que mueve o provoca el desplazamiento de los pistones, pero irremediablemente hay una parte de ella que de cualquier manera se convierte en calor (por ello los motores necesitan un dispositivo de enfriamiento para liberar la gran cantidad de calor producida).

Si al final del proceso hacemos cálculos, nos daremos cuenta de que, de la energía contenida en los enlaces de la gasolina, en términos estrictos, una parte no ha sido "utilizada", sino que se ha transformado en energía mecánica para subir el coche a la montaña, y otra no se ha "liberado", ni ha desaparecido, sino que se ha transformado en calor.

La energía eléctrica contenida en un acumulador eléctrico, hablando en términos estrictos, no se utiliza" para mover el

motor de arranque de un coche, sino que se *transforma* en energía mecánica a través del motor de arranque, y mueve al motor del coche.

Tal vez con estos ejemplos quede claro que en la naturaleza nunca se puede hablar ni de utilización ni de gasto de energía, sino de su transformación de unas formas en otras; sin embargo, en el uso diario del lenguaje son habituales dichos términos, y seguiremos la misma costumbre en este libro, en donde se habla de gasto, de utilización y de liberación de energía. Son, pues, muchísimas las formas que puede tomar, y de ellas enlistamos algunas a continuación:

- Energía química
- Energía eléctrica
- Energía mecánica
- Energía calorífica

Los seres vivos manifiestan ser transformadores de energía de diferentes maneras. Una muy clara es la capacidad que tienen para generar calor, pero ésta no es sino el resultado de muchas otras formas en las que, como en la combustión de la gasolina por los coches, "sobra", o se "libera" energía, que se transforma en calor durante muchos procesos. Otra de las manifestaciones claras de la capacidad de transformar energía que tienen los seres vivos es el movimiento; independientemente de si se conocen o no los mecanismos, es clara una conexión entre la ingestión de los alimentos y el movimiento. Los mecanismos son muy complicados, pero a fin de cuentas el movimiento, que es una forma de trabajo, representa la transformación de la energía química contenida en los enlaces moleculares de los alimentos, en energía mecánica.

Hay transformaciones de energía en funciones que son aún más complejas que el movimiento mismo, pero que podemos percibir con claridad; es el caso de muchas de las fun-

ciones realizadas por algunos de nuestros órganos, como el corazón, el intestino, nuestro aparato respiratorio, etc. Hay otras más en las cuales no se observa movimiento, y que sin embargo también implican transformaciones de energía; tales son el funcionamiento de nuestros riñones, nuestras glándulas y otros órganos que, no por no tener movimiento significa que no requieran la transformación constante de energía.

Tal vez las funciones más complicadas sean aquéllas realizadas por el sistema nervioso, que en última instancia comprenden al pensamiento mismo. El hecho de que nuestras células nerviosas sean inmóviles no quiere decir que no requieran energía. Poseen una serie enorme de funciones que podríamos considerar parciales, pero cada una de las cuales requiere de energía, o dicho de manera más correcta, implica transformaciones de energía.

Otra de las transformaciones de energía que no vemos, pero que se realiza con gran intensidad en los organismos vivos, está dada por el movimiento de sustancias a través de membranas. Uno de los casos obvios es el paso de los materiales nutritivos por la pared del intestino para ser aprovechados por nosotros; pero hay también movimientos de esas sustancias al interior de las células. Todas ellas deben nutrirse y desechar aquello que no quieren o no necesitan. Es necesario que los materiales alimenticios, el agua y las sales minerales entren en nuestro organismo, pero éste es sólo el primer paso hacia donde en última instancia realmente se les utiliza: las diferentes células de nuestro organismo. Además, durante el aprovechamiento de muchos materiales y durante la realización de muchísimas funciones, se producen también sustancias que deben ser expulsadas de las células, y la mayor parte de sus movimientos involucra cambios de energía de unas formas a otras. Todos los organismos utilizan buena parte de la energía de los materiales de que se alimentan en este proceso de transporte

continuo y muy activo de sustancias de unos lugares a otros y hacia dentro o hacia fuera de las células.

Por último, existe otra transformación o uso de energía de gran importancia en los seres vivos. Se trata de la renovación constante de las moléculas que los componen. Nosotros no apreciamos ningún cambio aparente de un día a otro en nuestro perro, o en nuestro gato, ni en nuestros amigos. Sin embargo, estudios cuidadosos han demostrado que las moléculas de los organismos vivos se están renovando; y aunque unas lo hacen con mayor velocidad que otras, al fin de cuentas todas se cambian constantemente por moléculas nuevas. Aun las moléculas que forman parte de nuestro cerebro, y que se nos antojarían inmutables, están renovándose continuamente.

Pero la renovación significa por una parte que las moléculas grandes o complejas deben ser destruidas, o convertidas en componentes más sencillos. Lo habitual es entonces que, al romperlas, la energía química de sus enlaces se transforme en calor, al menos en su mayor parte. La otra fase de la renovación, la síntesis (formación) de las moléculas nuevas, requiere de otra forma de energía diferente al calor, la cual debe provenir de los alimentos y sus transformaciones. Otro de los grandes capítulos de las transformaciones de la energía es la liberación de calor al romperse los enlaces de moléculas grandes, y el ingreso de otras formas de energía para la producción o síntesis de unidades pequeñas, a fin de formar las moléculas nuevas que han de reemplazar a las destruidas.

En suma, las grandes funciones en que se realizan las principales transformaciones de energía en los seres vivos, al menos desde el punto de vista de su cantidad, son:

- a) el movimiento,
- b) el transporte de nutrientes, y
- c) la síntesis de nuevas moléculas.

Asimismo, es necesario insistir en que en toda transformación de energía hay una parte de ella que necesariamente se convierte en calor.

## LAS FUENTES DE LA ENERGÍA

La gran fuente de energía de la que dependemos todos los seres vivos es el Sol; desde la educación primaria se nos dice que hay un ciclo de energía y de materiales entre los animales y las plantas, y que está alimentado por la energía del Sol. Este concepto tan simple es sin embargo válido y cierto; sólo que hay que tomarlo con un poco más de propiedad. No es que las plantas "utilicen" la energía del Sol para fabricar ciertas moléculas simples; la verdad es que las plantas toman una pequeña parte de la energía luminosa que llega del Sol a la Tierra y la transforman en la energía química de diferentes sustancias. El caso más simple es el de los azúcares, que se forman según la reacción:



Pero la energía que contienen seis moléculas de bióxido de carbono y seis moléculas de agua es mucho menor que la de una molécula de glucosa. Por consiguiente, en el proceso de la fotosíntesis se requiere, hay que "utilizar", o es necesario *transformar* una parte de la energía luminosa que viene del Sol en la energía química que mantiene unidos los átomos en ese azúcar. Esto sucede en un proceso bastante complicado, pero cuyos detalles se conocen en buena parte, tanto en las plantas como en ciertas bacterias fotosintéticas principalmente (véase el capítulo II). En el resto de los capítulos de este librito se habrán de esbozar de manera sencilla los mecanismos implicados en dicha transformación energética.

Esta situación convierte entonces a los vegetales en los organismos más importantes e imprescindibles en el camino de la utilización de la energía del Sol, como transformadores de la energía luminosa en energía de enlaces químicos, fundamentalmente de la glucosa. Además, las plantas también pueden elaborar a partir de la glucosa otros azúcares, así como grasas, y también proteínas, o al menos los componentes de éstas, los aminoácidos. Por otra parte, al mismo tiempo que las plantas nos ofrecen la energía del Sol ya transformada en una especie que podemos aprovechar, la de los enlaces de la glucosa y otras sustancias nos proporciona simultáneamente materiales que también nos sirven para esa constante renovación de todas nuestras moléculas, que ya hemos mencionado. Las plantas, asimismo, producen constantemente el oxígeno indispensable para la vida, según se le conoce hoy en día.

Una vez capturada o transformada la energía del Sol en la de los enlaces de los azúcares y otras sustancias, son los animales los que las ingieren. En ellos, el proceso es un tanto al contrario; ahora se trata de convertir esa energía de los enlaces de las moléculas, proveniente de la luz del Sol, en otra que puedan aprovechar sus células y tejidos a fin de funcionar. Lo que hacen los animales es transformar de nuevo la energía de los enlaces químicos de los azúcares y otras sustancias, en una forma de energía directamente aprovechable por distintos sistemas. Para ello realizan, vista de manera general, la reacción inversa a la que realizaron las plantas:



Pero en el proceso, la energía contenida en los enlaces debe pasar a otra forma que las células puedan utilizar. De la misma manera que un motor de automóvil no puede funcionar si se le da leña o carbón, una fibra muscular no se pue-

de contraer si le agregamos glucosa, aunque ésta contenga energía en los enlaces de sus átomos. Las células deben convertir esa energía en otra forma directamente aprovechable por la fibra muscular, y para eso se utiliza una sustancia llamada ADP, o adenosín difosfato, que en su estructura contiene dos fosfatos, como se muestra en el capítulo III. Esta molécula se puede convertir en ATP, adenosintrifosfato, que entonces contiene tres fosfatos, como resultado de un complicado proceso que se describirá también en el capítulo III, y que de hecho supone que la energía de los enlaces de la glucosa se convierta en energía de los enlaces del ATP. Sí ahora agregamos ATP a una fibra muscular, ésta se contrae, pero al mismo tiempo rompe el enlace que se había formado y nos lleva de nuevo a ADP y un fosfato libre.

Esta reacción que tiene lugar durante la contracción de las fibras musculares ocurre en muchos otros procesos que requieren energía. Nunca es directamente la de los enlaces de los azúcares la que se utiliza. El combustible "universal" de las transformaciones de la energía en los seres vivos es el ATP, y se puede utilizar para muchísimos procesos que hemos mencionado antes.

Es natural que nos preguntemos ¿de dónde ha resultado el conocimiento sobre las transformaciones de la energía que tienen lugar en los seres vivos? De hecho, una de las primeras personas que se hizo ya en serio esa pregunta fue el extraordinario sabio Lavoisier, quien a finales del siglo XVIII observó que si se quemaba glucosa en presencia de aire, se producía calor. Pensando que comemos, o que podemos comer glucosa, y que nuestro organismo produce calor, este sabio imaginó y propuso luego que en nuestro organismo también se utiliza la glucosa por un camino que lleva finalmente a su oxidación y a la producción de bióxido de carbono y agua, pero que la energía del azúcar es de alguna forma aprovechada, o transformada, en alguna otra forma de energía aprovechable por el organismo. Es de esperarse

que este brillante sabio no tuviera, sin embargo, dada la época en que vivió, la menor idea de los mecanismos que intervienen en las transformaciones de energía en los seres vivos.

Hacia principios del siglo XX se iniciaron apenas los estudios tendientes a entender los mecanismos mediante los cuales las células aprovechan la glucosa. Una de las grandes incógnitas que surgió fue la referente al mecanismo mediante el cual un microbio, la levadura, transformaba la glucosa en alcohol. Esta inquietud era en cierta forma natural, dado que dicho microorganismo ha tenido desde tiempos antiguos una gran importancia para la humanidad en la elaboración de dos productos extraordinarios: el pan y el vino.

A finales de 1933, un alemán, Fritz Lohman, descubrió el adenosintrifosfato (ATP); pero en ese momento no se tuvo idea de su importancia como la "moneda" energética de las células ni de su distribución universal en los seres vivos, sino hasta cinco o diez años después de su descubrimiento. Hay que tener en cuenta que el mundo científico de aquellos años era sumamente reducido.

Otro de los grandes descubrimientos fue el de la molécula conocida como nicotín adenín dinucleótido (NAD) y la definición de su estructura por el científico alemán Otto Warburg. A lo largo de varios años se aclaró también que esta molécula participa además en las transformaciones de energía de los seres vivos, en un proceso conocido como óxido-reducción, semejante a aquel por el cual los acumuladores de corriente o las pilas eléctricas producen electricidad, y que es un proceso en el cual está implicada una cantidad importante de energía. Se supo así que hay un esquema general, el cual se muestra en la figura 2, que es válido para casi todos los organismos vivos, y según el cual, cuando las moléculas como la glucosa, los ácidos grasos o las proteí-

nas se degradan, se produce energía en la forma de ATP, o como el llamado poder reductor, que no es otra cosa que moléculas como el NAD, que pueden reducirse con la incorporación de átomos de hidrógeno para dar lo que se identifica en la jerga bioquímica como NADH y reoxidarse cuando estos hidrógenos se pierden. Ésta es otra forma de transformar energía.

Para tener una idea de la energía que traen consigo estos cambios de óxido-reducción, baste saber que si dos hidrogenos (en realidad los electrones de estos hidrógenos) del NADH pasan hasta el oxígeno, la cantidad de energía que resulta es de aproximadamente 56 kilocalorías por cada mol. El mol es una unidad de medida igual al peso molecular de un compuesto tomado en gramos. Para el ATP, la energía de cada enlace de fosfato es de sólo 7.5 kilocalorías.

Resulta así un esquema metabólico que ha sido integrado por miles de investigadores a lo largo de varios decenios, y el cual permite tener una idea bastante cercana de los cambios de energía que se dan durante las transformaciones de los diferentes metabolitos en las células o, para ser más precisos, en las mitocondrias.

Aunque desde hace mucho tiempo se había descrito a las mitocondrias como pequeños organitos u "organelos" de las células, y se les había observado al microscopio, era prácticamente nulo el conocimiento que se tenía acerca de sus funciones. En 1948, dos investigadores, Schneider y Hogeboom, describieron un método que se antojaba extraordinario, y que abrió enormes posibilidades para la investigación en el mundo de la bioenergética: mediante el uso de una solución adecuada de azúcar común, sacarosa, se podía moler el hígado de una rata de laboratorio preservando la estructura y la función de las mitocondrias, y luego, por centrifugación, separarlas de los otros componentes celulares.

Este procedimiento, que en la actualidad se antoja trivial, fue un avance trascendental en la investigación de las transformaciones de la energía. Aunque no se sabía que estos organelos celulares eran los responsables de las transformaciones de la energía, el hecho de tenerlos aislados ofreció a los científicos curiosos la posibilidad de estudiarlos y de definir sus funciones. Pronto (en unos dos decenios) se encontró que eran ellas las responsables de la respiración de las células (que es lo que realmente supone el consumo de oxígeno) y, más aún, que al mismo tiempo que respiraban, realizaban la síntesis del ATP a partir del ADP y el fosfato inorgánico. Se descubrieron los componentes moleculares del sistema que transporta los electrones provenientes originalmente del NADH hacia el oxígeno, y los mecanismos generales de formación del agua en este complicado proceso. Sin embargo, el mecanismo de la transformación de la energía propiamente dicho se resistió durante muchos años más a ser aclarado, pese a que fue notable el aumento que hubo de grupos de investigadores interesados en el problema.

De la misma forma, aislaron los cloroplastos de las plantas, que son el equivalente de las mitocondrias de las células animales, y se demostró que estos otros "organelos" son los responsables, y el sitio en el cual se lleva a cabo, de la "captura" de la energía del Sol y los procesos que la acompañan, y que llevan finalmente a la síntesis de la glucosa y otros azúcares utilizando bióxido de carbono, agua y energía luminosa.

Los grupos de investigación acumularon gran cantidad de información, pero muchos de los datos permanecían sin explicación. No fue sino hasta 1961 en que el genio extraordinario de un inglés, Peter Mitchell, integró los conocimientos que se habían acumulado para postular mecanismos generales y así abrir la posibilidad de numerosas investigaciones en todo el mundo, las cuales, en conjunto, han llevado a

explicar cómo, de formas diversas, se transforma la energía en los seres vivos conforme a una cadena de sucesos de gran complejidad. Uno de sus grandes méritos fue no sólo proponer, sino haber demostrado la universalidad de los mecanismos generales de transformación de la energía tanto en las mitocondrias y los cloroplastos como en bacterias y en todo organismo vivo, en cada caso con sus particularidades.

Este libro es un intento de presentar al público en general una visión de tan interesante tema, y es propósito de los autores hacerlo en una forma sencilla y clara. En los siguientes capítulos se describirá primero la forma de las transformaciones de la energía luminosa del Sol en otras formas de energía aprovechables, e incluso almacenables por las células y tejidos de las plantas, para luego exponer la manera en que va cambiando, la cual resulta en los enlaces químicos de los azúcares en otras formas de energía también aprovechables, principalmente por los animales.

En otros capítulos haremos una descripción de la transformación o aprovechamiento de la energía en otras formas que, integradas, dan finalmente lugar a la vida misma, con el movimiento de los animales, a las diferentes funciones vitales y, en el caso del hombre, a las del sistema nervioso central, que incluyen además de complicadísimos sistemas de control y comunicación entre las células, los mecanismos del pensamiento mismo. Es posible, en última instancia, concebir la vida como una constante transformación de la energía en diferentes formas a través de millones de procesos interconectados. Como casi cualquier otro proceso natural, la vida implica también cambios continuos de las formas de la energía, que la mantienen y sin los cuales necesariamente deja de existir.

## II.

### LA LUZ ES UNA FORMA DE ENERGÍA

---

EL SOL irradia hacia la Tierra una gran cantidad de luz, la cual es utilizada por los organismos equipados para retener la energía que ésta proporciona. De la enorme cantidad de luz que nuestro planeta recibe, sólo se aprovecha parte de ella. Lo que ocurre es que 50% de ésta es reflejada por las nubes y la atmósfera; y del otro 50% que logra penetrar a la superficie del planeta, 40% se pierde nuevamente por reflexión, debido a la gran superficie reflectora que presentan los océanos, de tal forma que sólo nos queda un 10%, el cual es aprovechado por las plantas y por pequeños organismos que, como ellas, utilizan la luz para obtener su energía y así sobrevivir.

Pero, a todo esto, ¿qué es la luz? La luz es una radiación electromagnética que por sus características particulares y al igual que toda radiación de este tipo, es una forma de energía. La energía electromagnética se puede concebir como una onda móvil del mismo tipo que las de sonido, las ondas de radio, de rayos X, de la luz y de otros tipos de radiación. Estas ondas electromagnéticas tienen una frecuencia de oscilación que determina su visibilidad o invisibilidad para nuestros ojos. Las radiaciones de frecuencias altas son los rayos ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma, y las de frecuencias más bajas que la luz visible son las del infrarrojo, las microondas y las ondas de radio.

Las ondas tienen características especiales que debemos conocer; para ello se remite al lector a la figura II.1 Como se ve, una onda está compuesta de crestas y valles; la distancia entre dos crestas o dos valles se conoce como longitud de onda ( $\lambda$ ), y se expresa en nanómetros (nm), que

son la milmillonésima parte de un metro (0.000 000 001 metros), y dependiendo de esta distancia, es decir, de la longitud entre dos crestas o dos valles, las ondas van a ser visibles o invisibles al ojo humano. Son visibles para nuestros ojos las radiaciones con una longitud de onda entre 420 (violeta) y 650 nm (rojo).

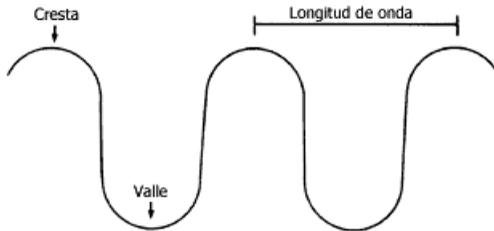


Figura II.1 Representación esquemática de una onda.

La luz, al incidir sobre la superficie de algunos metales, desprende una partícula con carga negativa, o sea un electrón. Este fenómeno fue observado por Einstein y se le conoce como efecto fotoeléctrico; por ahora, baste con decir que la respuesta del electrón emitido (su energía) depende de la longitud de onda de la luz incidente y no de su intensidad. La interacción de la energía luminosa con la materia suscitó gran interés en el siglo XIX, ya que los espectroscopistas atómicos, como se llama a los especialistas en la materia, observaron que los átomos y las moléculas sencillas son altamente selectivas en cuanto a la frecuencia de luz que pueden absorber y emitir. Así, cuando algunas moléculas o átomos son excitados por un haz de luz u otra energía electromagnética, su estado energético se puede modificar; una de las formas de respuesta de las moléculas a este tipo de estímulos es la emisión de luz o de calor. Esto se representa en la figura II.2, donde se observa que cuando un haz de luz de una frecuencia o longitud de onda definida incide

sobre una molécula, su estado cambia de  $E_1$  a  $E_2$  y, al hacer esto, absorbe un fotón o cuanto de luz. Cuando su estado energético cambia de  $E_2$  a  $E_1$ , dicha molécula puede emitir un fotón con una energía ligeramente menor a la del que la excitó, o simplemente calor.

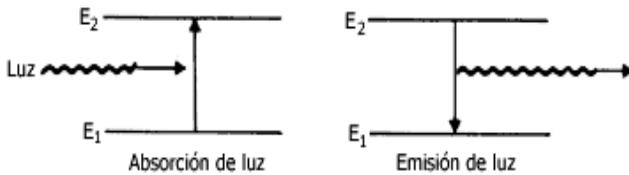


Figura II.2 Efecto fotoeléctrico.

## LAS "BOMBAS" DE IONES EN LOS SERES VIVOS

Existen en la naturaleza, y en especial entre los seres vivos, moléculas que pueden absorber o recoger la energía que proporciona la luz o bien energía de otros tipos, y no sólo eso, sino que la transforman además en otro tipo de energía; entre estas moléculas biológicas están las que se conocen como bombas, ya que operan en contra de una fuerza que se opone, al igual que una bomba de agua se opone a la fuerza de la gravedad, o una bomba de aire vence la resistencia que le opone un recipiente que contiene aire en un espacio reducido. Por ejemplo, el ion de calcio, el ion de sodio, o el de potasio, que se requieren para ciertos procesos, deben acumularse en algunos compartimentos celulares, y el proceso requiere de una "bomba" que los capture y acumule en contra de una alta concentración preexistente. Hoy en día se conoce una gran cantidad de moléculas de proteína que funcionan como bombas, y por regla general se encuentran localizadas en el interior de la membrana de

un microorganismo o de una célula; esto es importante ya que las membranas separan un compartimento de otro y de esta forma una bomba puede operar como tal.

Las bombas, dado que movilizan moléculas de un lado a otro de las membranas de las células, y muchísimas veces en contra de su tendencia natural, por las diferencias de concentración, requieren energía para funcionar. Hay algunas activadas por la energía de la luz, y otras activadas químicamente. Pero también, así como las bombas pueden mover algunas sustancias o iones y para ello utilizan energía, es posible que, en ocasiones, los movimientos de estas sustancias o iones las hagan funcionar "al revés", y en esos casos, que puedan producir energía o moléculas que la contengan, como se verá más adelante.

#### LA BACTERIORRODOPSINA COMO EJEMPLO DE "BOMBA"

Ésta es quizá una de las moléculas de proteína más interesantes que se conocen y también una de las más estudiadas; forma parte de una bacteria que se encuentra poblando las salinas y que por tanto puede sobrevivir en muy altas concentraciones de sal. Estas bacterias llamaron la atención de los investigadores por su capacidad para echar a perder la carne de pescado salada; cuando se crecen en cultivos presentan un color rojizo y esto se debe a la presencia de pigmentos (Figura II.3).

La bacteriorrodopsina permite a la bacteria atrapar energía luminosa y convertirla en energía química, la cual a su vez se utiliza para mantener la vida y otras de sus funciones. Estas bacterias tienen una membrana celular muy especial; al observarla al microscopio electrónico, utilizando una técnica que se conoce como fractura en frío, se encontró que existen áreas o parches que contienen unas partículas ordenadas con un patrón altamente regular.

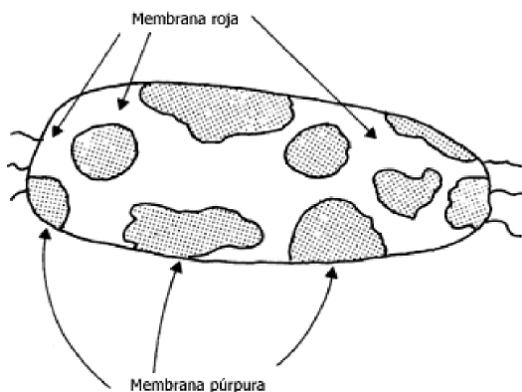
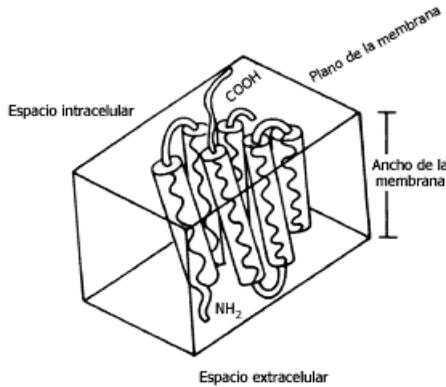


Figura II.3 *Halobacterium halobium*.

Estas membranas, que ahora se sabe contienen las moléculas de bacteriorrodopsina, tienen un color violáceo característico, y además, la concentración de esta proteína es tan alta que facilita enormemente su aislamiento y su estudio; los resultados de muchísimas investigaciones indican ahora que la bacteriorrodopsina consta de siete cadenas de aminoácidos que cruzan la membrana de la bacteria y al acercarse forman una especie de poro. Esto, se sabe, se debe a que la cadena de aminoácidos que forma la proteína se pliega sobre sí misma y, debido a su intolerancia a las moléculas de agua se alojan en el interior de la membrana, en donde no hay agua (Figura II.4).

Esta conformación particular hace que la bacteriorrodopsina tenga más de 80% de su estructura incluida dentro de la membrana de la bacteria; está formada por una sola cadena de 248 aminoácidos, que como se ve en la figura, empieza de un lado de la membrana y termina en el lado opuesto, y es capaz de captar la energía luminosa y de transformarla

en energía química, para lo que se sirve de un compuesto llamado retinal, también conocido como vitamina A. Este mismo compuesto se encuentra en los receptores visuales de los animales vertebrados e invertebrados que son capaces de captar la luz y convertirla finalmente en lo que nosotros percibimos en el cerebro como imágenes.



**Figura II.4** Esquema de la molécula de bacteriorrodopsina. Se puede ver que la proteína está formada por una sola cadena que forma 7 columnas que van de lado a lado de la membrana de la bacteria. Esta única cadena de aminoácidos es altamente intolerante al agua y por esta razón se acomoda en el interior de la membrana de la bacteria. Éste es el típico ejemplo de una proteína membranaral.

Al incidir la luz en la membrana púrpura de esta bacteria, la molécula de vitamina A o retinal sufre un cambio reversible en su estructura que provoca la salida de un protón o hidrogenión (H<sup>+</sup>). Esta salida de protones del interior al exterior de la bacteria provoca su acumulación en el exterior y una deficiencia en el interior (Figura II.6). Esta simple diferencia de concentración de los protones contiene una energía semejante a la que posee el aire cuando se le comprime dentro de un espacio, con respecto a otro; por ejemplo, en el interior de un tanque de metal se puede comprimir aire, y la

diferencia de presión con el exterior puede utilizarse para efectuar un trabajo, como mover un taladro, empujar un émbolo con un automóvil encima, etc. En forma similar a este ejemplo, al acumularse los protones bombeados al exterior, se crea una diferencia de cargas y de concentración de protones, los cuales tienden de manera natural a reentrar en la bacteria para alcanzar el equilibrio. Dado que la membrana en general es impermeable a los protones, estos regresan a través de otra proteína membranal conocida como ATP sintetasa. Esta otra proteína de la membrana aprovecha la energía que poseen los protones acumulados del lado opuesto de la membrana, para sintetizar la molécula de ATP a partir de ADP y fosfato (P), funcionando así como el pistón de nuestra máquina neumática.

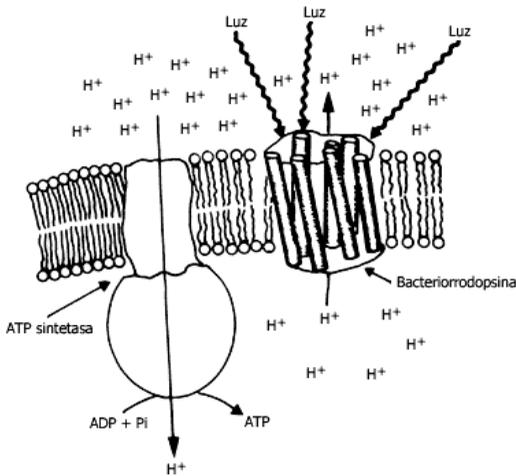


Figura II.5 La bacteriorrodopsina "bombee" protones al exterior de la bacteria *Halobacterium halobium* y al equilibrarse éstos, otra proteína, la ATP sintetasa sintetiza ATP.

Este mecanismo biológico de transformación de energía es el más sencillo que se conoce, ya que en él intervienen,

como dijimos antes, y como se muestra en la figura II.5, solamente dos proteínas que responden directamente, por una parte a la luz y por otra a los protones que fueron bombeados al exterior por la bacteriorrodopsina, estimulada a su vez por la luz del Sol. Vemos así cómo la naturaleza logra generar la energía química o metabólica necesaria para mantener la vida de un microorganismo como *Halobacterium halobium*; en esencia, este mecanismo se basa en una bomba de protones activada por una forma de energía electromagnética que es la luz.

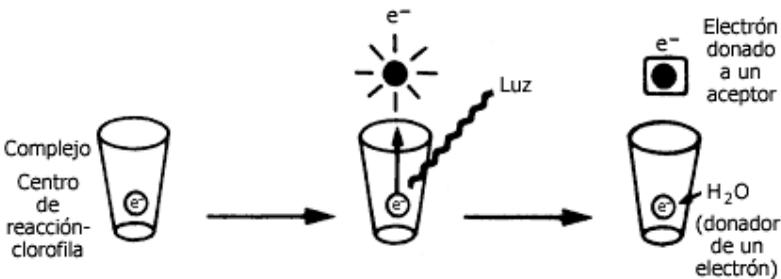


Figura II.6 En esta figura se ejemplifica el proceso primario de la fotosíntesis en donde la luz (un fotón) excita un electrón; éste deja un hueco en la molécula de clorofila al ser donado a un aceptor. El hueco es llenado por un electrón que proviene del agua.

## LA FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis es un fenómeno biológico fundamental para la vida en nuestro planeta. Al parecer, la activa producción de oxígeno por parte de algunos organismos que utilizan la luz del Sol para generar sus nutrientes, determinó que nuestro planeta contara con la atmósfera que actualmente tiene; es decir, una atmósfera que contiene oxígeno, gracias al cual pueden surgir organismos que lo utilizan y que se ali-

mentan, entre otras cosas, de plantas. Así se creó una complicada cadena de sobrevivencia en la que los organismos fotosintéticos, y aquí incluimos desde las bacterias hasta las plantas, desempeñan un papel muy importante. El proceso de la fotosíntesis hace posible la utilización de una parte de la gran cantidad de energía que despiden el Sol.

El proceso de fotosíntesis se encuentra en varios organismos que van desde las bacterias hasta las plantas y se puede llevar a cabo en presencia de oxígeno o en su ausencia. Las plantas y algas llevan a cabo este proceso en presencia de oxígeno y las llamadas bacterias fotosintéticas en su ausencia.

El desarrollo del conocimiento de los complicados procesos que ocurren durante la fotosíntesis ha tenido lugar en los últimos tres siglos. En 1650 Van Helmont realizó un experimento muy sencillo que le permitió hacer una importante observación, y que consistió en sembrar un árbol que pesaba 5 kg en un recipiente que contenía 100 kilos de tierra arenosa; al cabo de cinco años el árbol pesaba 270 kilos y la tierra casi 100 kilos. Este hecho ocurrió 100 años antes de que Lomonosov y Lavoisier enunciaran la ley de la conservación de la materia, y Van Helmont pensó que el peso y la materia del árbol deberían provenir del agua con la que lo había regado. En 1771 Joseph Priestley demostró que un ratón no era capaz de vivir en un recipiente cerrado cuyo aire había sido enrarecido al introducir en su interior una vela encendida. Sin embargo, si dentro de la campana se introducía a la vez que la vela una planta, que curiosamente fue de menta, el ratón vivía y la flama se podía mantener. Posteriormente, Ingenhousz descubrió que eran las partes verdes de las plantas las que renovaban el aire durante el día y lo enrarecían durante la noche. No fue sino hasta 1920 que otro investigador, Van Niel, inició el camino correcto hacia el entendimiento de este proceso.

La fotosíntesis es un proceso que incluye un fenómeno de captación de luz y otro conocido como de óxido-reducción. La luz es recogida (absorbida) por pigmentos conocidos como clorofilas, que están siempre asociados entre sí formando grupos de cientos de moléculas que tienen la función de antenas captadoras de luz. Como muchas otras transformaciones de energía, todas las formas de fotosíntesis se realizan en sistemas de membrana cerradas, como los cloroplastos, que son organelos de las células de las hojas de las plantas, o las mismas membranas celulares en el caso de las bacterias fotosintéticas. Al someter a una molécula aislada de clorofila a la energía que proporciona la luz, cambia el estado de un electrón en la molécula y la energía original se disipa como luz (fluorescencia) y calor, ya que el electrón excitado vuelve en un tiempo muy corto a su estado energético original.

Lo que ocurre en las hojas de las plantas, y más específicamente en la membrana de los cloroplastos, es que la luz al excitar la molécula de clorofila, hace que le done un electrón a otra proteína a la cual está asociada, a la que se le ha denominado centro de reacción. Este fenómeno va siempre acoplado con la ruptura de una molécula de agua ( $H_2O$ ), de donde se obtiene el electrón que la clorofila dona en el paso anterior.

En biología, los procesos de óxido-reducción tienen un papel muy importante, veamos qué son y cómo operan, ya que van de la mano de los procesos de transformación de la energía. La naturaleza ha adoptado este tipo de mecanismos en diversos tipos de transformaciones de energía, como la que provee la luz en el caso de la fotosíntesis, para que sea retenida y se pueda usar en otros procesos que la requieren. Existen moléculas que sueltan o donan con facilidad un electrón a otra molécula que a su vez tiene la posibilidad de aceptarlo y de donarlo luego a otro aceptor. Cuando un donador queda sin un electrón se dice que se oxida y el

aceptor se reduce al aceptarlo, y de ahí el nombre del proceso. En los seres vivos hay muchos casos de moléculas que son capaces de recibir y luego donar electrones, que inclusive se organizan como en cadenas, y son de gran importancia para nuestro tema, pues en cierta forma son la base de muchos cambios de energía.

Al recibir el centro de reacción un electrón, tiene lugar un proceso de óxido-reducción que además tiene como consecuencia la formación de oxígeno O<sub>2</sub> molecular. Con la energía que proporciona la luz, el agua dona un electrón al centro de reacción y la molécula se rompe; se piensa que este proceso se lleva a cabo mediante la acción de una enzima, la cual hasta la fecha no se ha podido aislar. El electrón que recibe el centro de reacción pasa a un estado que se denomina "activado", pues tiene una tendencia enorme a regresar al oxígeno. Pero en los seres vivos esto tiene lugar haciéndolo pasar en forma sucesiva a través de varios compuestos hasta un aceptor final. Este paso de electrones se caracteriza porque, simultáneamente, ocurre un bombeo de protones al interior del cloroplasto, o al exterior de las bacterias fotosintéticas.

Este bombeo de protones o hidrogeniones es semejante al producido por la bacteriorrodopsina, y tiene como resultado la aparición de una diferencia en la actividad eléctrica y química de los protones a ambos lados de la membrana, la cual proporciona la energía para la síntesis de la molécula que ya conocemos y que sostiene al metabolismo de todos los seres vivos, el adenosintrifosfato (ATP). Esto sucede en una primera fase de la transferencia de los electrones a través de un sistema que recibe el nombre de fotosistema II.

El electrón llega finalmente a otro centro de reacción, que con energía luminosa lo "activa" otra vez, para llevarlo de nuevo por varios pasos hasta un aceptor final que se identifica con las siglas NADP y que al recibirlo se convierte en

NADPH, con más electrones que el NADP. Veamos entonces la serie de sucesos que ocurren; en la figura II.7 se observa que al incidir la luz sobre la membrana se excitan dos centros de reacción. Como resultado de la excitación, el electrón que es donado por el agua pasa a los diferentes compuestos cuyo conjunto se conoce como fotosistema II y fotosistema I, hasta un aceptor final. Esta transferencia de electrones tiene dos fines; uno de ellos es el de sintetizar la molécula más importante en el metabolismo energético, que es el adenosintrifosfato (ATP), y el otro, la reducción del NADP que es a su vez una molécula necesaria para donar electrones, o hidrógenos, en la síntesis de los azúcares que se deben producir en una fase posterior de la fotosíntesis. Esta curiosa manera en que está arreglado el sistema transportador de electrones, al que también se le llama esquema 2 implica que la luz energiza en dos pasos, y que va del agua, la cual retiene con gran fuerza sus electrones, hasta llegar al NADPH, el cual los cede con mucha facilidad. Esto implica que un solo fotón no contiene la energía necesaria para que un electrón sea transferido del agua al NADP. La energía proporcionada por estos dos fotones, que se indican en la figura anterior, permite además que se bombeen protones al interior del cloroplasto, logrando así que la concentración de protones ( $H^+$ ) sea mayor dentro que fuera, para que, con la energía de su regreso hacia afuera, se lleve a cabo la síntesis de ATP. Estos procesos de transferencia de electrones son extremadamente rápidos, y ello ha dificultado su estudio.

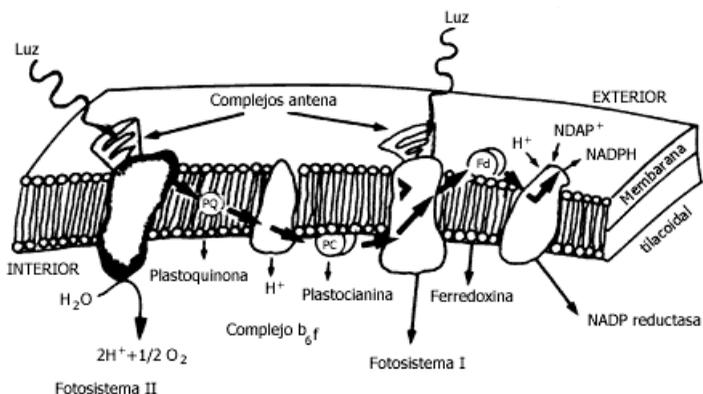


Figura II.7 (a) Esquema de la membrana de un cloroplasto de planta. Una vez que la luz incide, el electrón que se excita recorre el camino indicado por las flechas. Como resultado se produce un bombeo de  $H^+$  al interior y NADPH.

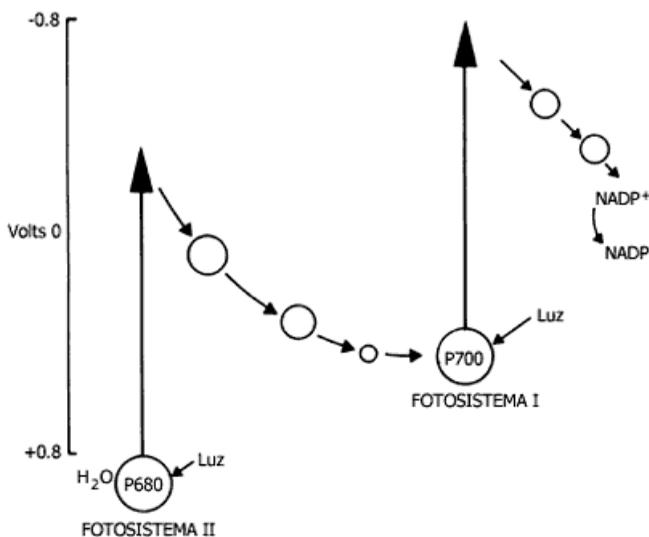


Figura II.7 (b) Esquema del proceso de fotosíntesis: La energía luminosa incide sobre dos centros cuyas longitudes de onda a la cual se excitan son 680 y 700 nm respectivamente. Las flechas indican que dos electrones cambian su estado energético a uno más alto o más electro-negativo. A partir de este punto ceden su energía y como resultado final se produce NADPH.

La producción de ATP y de NADPH tiene como fin proporcionar la energía para la síntesis de las moléculas de azúcar (glucosa). Las reacciones que se llevan a cabo en el cloroplasto, o en términos más sencillos, en las hojas de las plantas, se pueden dividir en aquéllas dependientes de la luz, y las que ocurren en la obscuridad (Figura II.8).

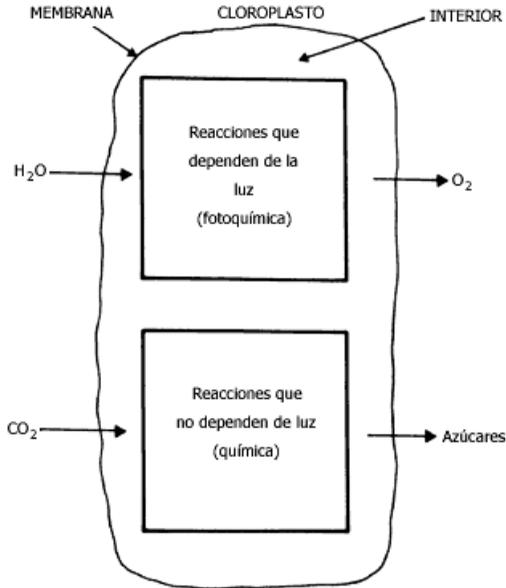


Figura II.8 El cloroplasto que se encuentra en el interior de las hojas es el motor principal de éstas y fabrica en su interior tanto ATP y ADP como azúcares y otras moléculas necesarias para crecer y multiplicarse.

Las reacciones que dependen de la luz son las que forman parte de los procesos fotoquímicos y que, como ya vimos, utilizan agua y producen oxígeno. Por otra parte, las reacciones que se llevan a cabo sin la luz utilizan **CO<sub>2</sub>** y producen azúcares.

Veamos de qué forma se acoplan los dos procesos, es de-

cir, de qué manera la luz provee lo necesario para que la hoja sintetice sus elementos básicos a fin de construir sus constituyentes (azúcares, proteínas y grasas). Para esto nos veremos obligados a enumerar los compuestos que van resultando y cómo se forman primero los azúcares, y después, a partir de ellos, las grasas y los aminoácidos. A este ciclo se le conoce como el ciclo de Calvin-Benson (Figura II.9); sin entrar en detalles, lo que ocurre es que continuamente se está formando una pequeña molécula de tres átomos de carbono que es el gliceraldehído-3-fosfato, a partir de la cual se construye lo que la célula vegetal necesita. Debemos notar que el ciclo gira utilizando al ATP y al NADPH como fuente de energía y en cada vuelta, para incorporar tres moléculas de CO<sub>2</sub> se gastan nueve moléculas de ATP y seis de NADPH. Este requerimiento se multiplica por dos para la síntesis de una molécula de glucosa, la cual tiene seis átomos de carbono.

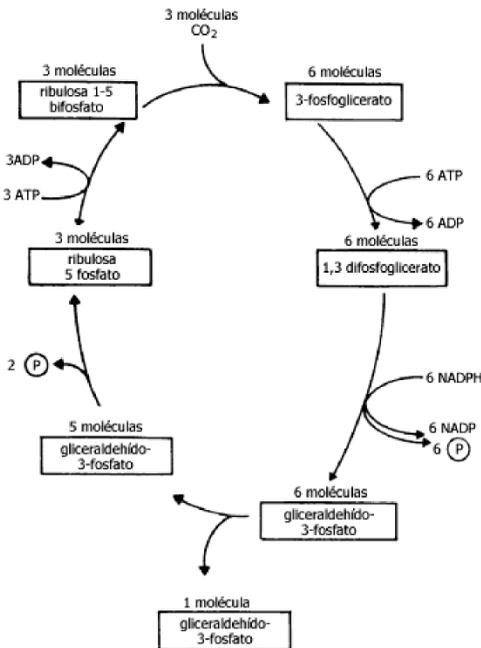


Figura II.9

Ciclo de Clavin-Benson en donde se forman 6 moléculas de gliceraldehído-3-fosfato, una de las cuales se va a utilizar para la síntesis de otros compuestos.

Así se inicia un ciclo en el que la energía de la luz es retenida por las plantas o las algas, por medio de los pigmentos llamados clorofilas; la energía capturada es transformada en energía química y utilizada para formar células nuevas, crecer y reproducirse. Este proceso genera por otra parte oxígeno, el cual es aprovechado por los organismos que no podemos utilizar la energía del Sol.

## LA TRANSFORMACIÓN DE LOS AZÚCARES EN OTROS COMPUESTOS

Las plantas, al igual que los organismos superiores, a partir de moléculas de tres átomos de carbono pueden formar una de seis: la glucosa. Ésta a su vez, en las plantas como en los animales, puede sufrir una enorme serie de transformaciones, algunas de las cuales veremos con algún detalle en el capítulo siguiente. Pero el hecho es que mediante transformaciones posteriores, una vez que se sintetiza la glucosa, a partir de ella se pueden producir, en las mismas plantas, los ácidos grasos que se requieren para sintetizar las grasas, o los aminoácidos para la síntesis de las proteínas. De esa forma, la fotosíntesis es el proceso que da lugar, no sólo a la producción de azúcares, sino también a la de las demás sustancias que participan en los procesos vitales, las grasas y las proteínas.

## LAS MOLÉCULAS COMO ALMACENES DE ENERGÍA

El Sol, como ya vimos, es un gran reservorio de energía que se difunde en parte como luz, que es la principal y más importante fuente para los seres vivos. Los organismos fotosintéticos la transforman en energía química y finalmente en

biomasa (el material de que están compuestos los seres vivos), que sirve para alimentar a los llamados organismos heterótrofos, es decir, aquellos que no son capaces de producir sus propias moléculas y deben tomarlas del exterior, como es el caso de los animales, incluyendo al hombre. La energía casi inagotable que el Sol en forma de luz emite, hace posible que organismos incapaces de aprovecharla sobrevivan al utilizar como alimento a las plantas y otros organismos. Estos organismos fotosintéticos contienen gran cantidad de la energía luminosa captada, la cual ha sido transformada en un tipo de fácil almacenamiento e intercambio, el de los enlaces químicos que contienen las innumerables moléculas que los componen. Por esta razón, los alimentos nos mantienen vivos; para comprender esto, imaginemos un edificio de 40 pisos de altura que fue construido poco a poco, pues para subir los ladrillos a pisos cada vez más altos se necesitó de muchos obreros. Una vez terminado, el edificio se mantiene en pie en contra de la fuerza de la gravedad, que constantemente tiende a colapsarlo. Si el edificio por cualquier causa se desplomara, se liberaría una gran cantidad de energía que se desprendería como calor. La liberación de esta energía calorífica es inútil, pero por ejemplo, una caída de agua libera energía que se aprovecha para mover dinamos y generar energía eléctrica. De esta misma forma, la síntesis de una molécula requiere energía, y en su degradación se puede aprovechar al menos parte de la que se utilizó para su síntesis. Por esta razón los alimentos son reservorios de energía.

### III.

## LA ENERGÍA DEL MUNDO ANIMAL: EL APROVECHAMIENTO DE LOS ALIMENTOS

---

**C**OMO ya se mencionó en los capítulos anteriores, las células están compuestas de moléculas, a su vez constituidas en su mayor parte por seis elementos principales, que son: carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre; estos elementos forman 99% de su peso. Por otra parte, el agua es la substancia más abundante en la célula y ocupa 70% de su peso. El átomo de carbono desempeña un papel importantísimo en la biología, debido a que es capaz de formar moléculas de gran tamaño y variedad, ya que puede formar cadenas o anillos. (Figura III.1).

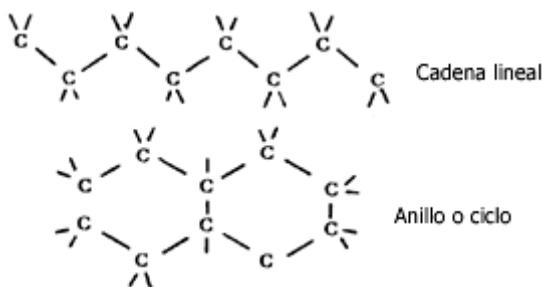


Figura III.1 Cadenas de carbonos.

Los átomos de carbono forman enlaces muy fuertes y resistentes ya sea entre ellos mismos o con otros átomos, los cuales se conocen como enlaces covalentes. Cada átomo de carbono se puede combinar con otros, y formar así un número muy grande y variado de compuestos.

Pero los enlaces, por su propia "fuerza" o energía, represen-

tan en realidad la forma en la que nuestras células reciben energía y la pueden utilizar, mediante complicados procesos, que trataremos de analizar en este capítulo.

Antes de empezar, señalaremos el significado de algunos términos que se utilizan con frecuencia al hablar de las transformaciones de las sustancias que se encuentran en los seres vivos. En primer lugar, las células cuentan con caminos para formar moléculas más pequeñas a partir de moléculas grandes, y a este proceso se le llama *catabolismo*. Hay un proceso inverso, que consiste en la formación de moléculas más grandes, a partir de otras más pequeñas, que recibe el nombre de *anabolismo*. De forma general, a todo el conjunto de transformaciones que sufren las sustancias en el organismo o en una célula se le llama *metabolismo*.

## LA DEGRADACIÓN DE LAS MOLÉCULAS

Para que las células puedan aprovechar las sustancias en sus distintas funciones deben primero degradarlas. Los procesos de degradación, o catabólicos, ocurren en tres etapas; en la primera, se rompen las grandes moléculas en sus componentes más sencillos, las proteínas en aminoácidos, los carbohidratos en azúcares sencillos y las grasas en ácidos grasos (Figura III.2). Esta degradación de las moléculas grandes libera energía que se disipa en parte en forma de calor. En una segunda etapa, estas pequeñas moléculas son a su vez degradadas para formar moléculas todavía más pequeñas, con la posibilidad de obtener energía útil para la célula. Estas moléculas pequeñas son el piruvato y la acetil coenzima A; el piruvato también a su vez se transforma en acetil coenzima A.

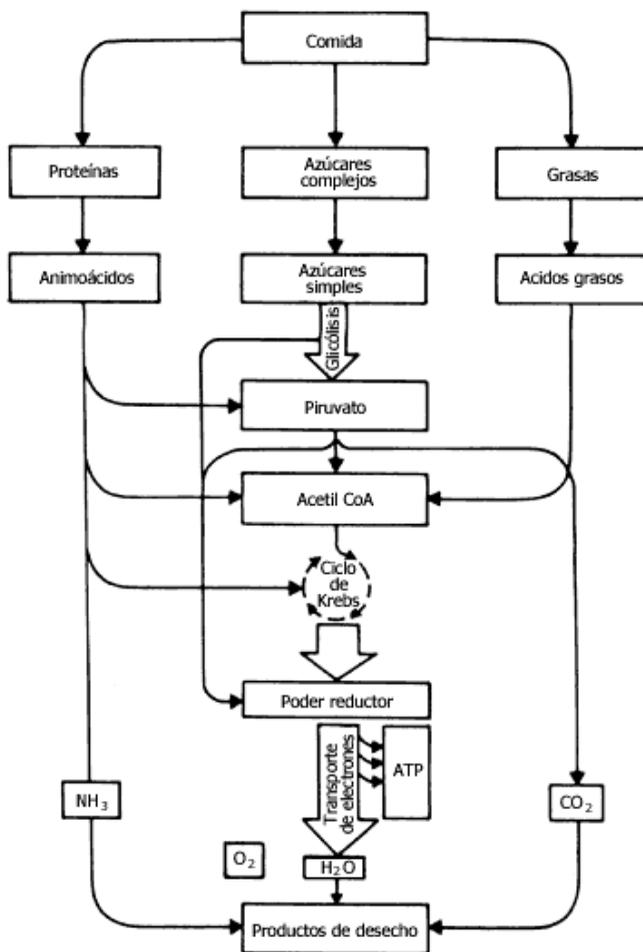


Figura III.2

Para el caso de los azúcares, por ejemplo, en la primera etapa se degradan los polímeros, como el glucógeno, para

dar glucosa. En la segunda etapa, la glucosa se degrada para dar piruvato, y éste se convierte en acetil coenzima A. Finalmente, ésta se degrada para dar  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Es necesario señalar que, de las tres etapas, sólo en las dos últimas se obtiene energía aprovechable por la célula, en forma de ATP. La degradación de la glucosa a piruvato u otros compuestos cercanos es probablemente el camino metabólico más antiguo que existe, y todavía algunos organismos lo utilizan para obtener ATP.

El esquema de la figura III.3 se presenta para dar sólo una idea de lo complicada que puede ser una vía metabólica. Con objeto de obtener energía y otras sustancias, tan sólo para partir a la molécula de glucosa en dos fragmentos iguales de piruvato o lactato, se requiere de un gran número de pasos, catalizados cada uno por una enzima diferente. La degradación de la glucosa, o glucólisis, se puede llevar a cabo tanto en ausencia como en presencia de oxígeno. Sin embargo, lo más importante del proceso es que parte de la energía contenida en los enlaces de la glucosa puede transformarse, con bajo rendimiento, en la de los enlaces del ATP, directamente aprovechable por la célula. Pero aunque una molécula de glucosa que se degrada para dar ácido láctico sólo produce dos moléculas de ATP, esta vía puede funcionar a gran velocidad en algunas células, las musculares, por ejemplo. Los atletas que participan en las pruebas rápidas, como por ejemplo la carrera de los 100 metros, obtienen casi toda la energía para la competencia, de esta vía metabólica.

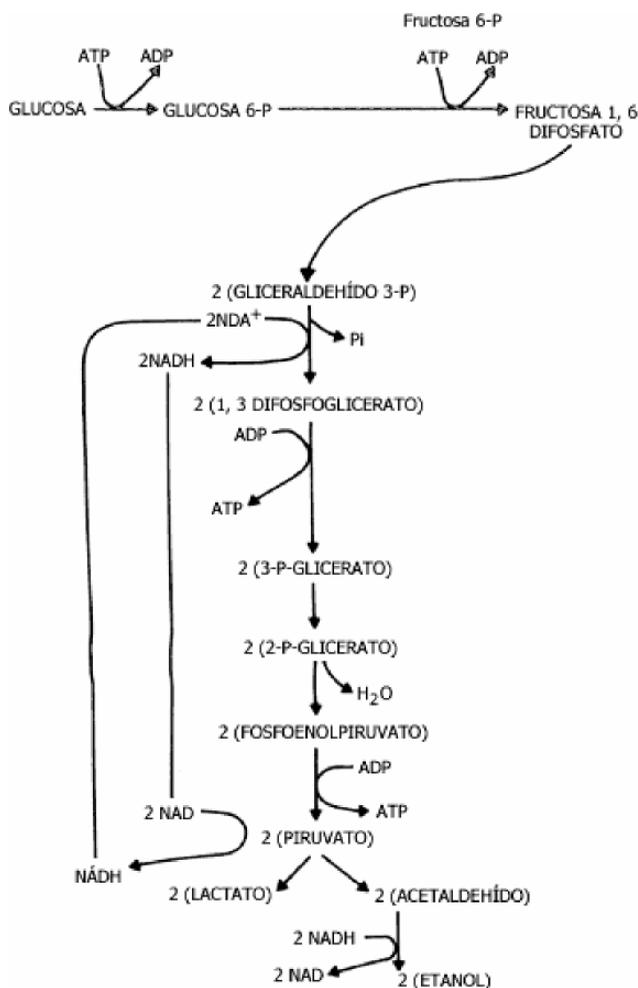


Figura III.3 Glucólisis.

La fermentación es una variante de este proceso de degradación de la glucosa hasta convertirla en  $\text{CO}_2$  y alcohol; la levadura, durante esta etapa, obtiene toda su energía a par-

tir de la degradación de la glucosa. Es afortunado, en cierta forma, que la vía sea poco eficiente, pues para obtener la energía, estos hongos (las levaduras) deben transformar en alcohol y en CO<sub>2</sub> grandes cantidades de glucosa. Por ello, la levadura puede utilizarse en la fabricación de pan, con el objeto de que produzca pequeñas burbujas internas de CO<sub>2</sub>, que al calentarse en el horno se dilatan y lo vuelven esponjoso. También la levadura puede producir grandes cantidades de alcohol, que pueden ser de gran utilidad en la industria y nos ofrecen, entre otras cosas, la cerveza y el vino.

Por cada molécula de glucosa se obtienen al final del proceso dos moléculas de lactato cuando se recorre el camino completo. y en el caso de la fermentación se producen dos moléculas de etanol (alcohol). Esta vía metabólica, la glucólisis, tiene una gran importancia pues además de proporcionar ATP a la célula, proporciona el piruvato que luego se ha de transformar en acetil coenzima A, que le permite continuar, utilizando otra vía metabólica, con la degradación hasta bióxido de carbono y agua, como veremos a continuación.

Las proteínas que se ingieren en la dieta no se aprovechan como tales, es decir, existen mecanismos de degradación que se llevan a cabo en el tubo digestivo. Mediante procesos más o menos complicados, se digieren para dar sus componentes, los aminoácidos, que se absorben por las paredes del intestino y son aprovechadas por nuestros tejidos. Las enzimas digestivas rompen las moléculas de proteína en fragmentos cada vez más pequeños hasta degradarlas en sus constituyentes básicos, los aminoácidos, que de esta forma sí pueden ser absorbidos por la pared intestinal. Los aminoácidos se procesan dentro de la célula mediante distintas enzimas, que también pueden convertirlos en acetil coenzima A. No entraremos en los detalles de la transformación química de los aminoácidos; baste saber

que sus esqueletos de carbono son utilizados como combustible para alimentar una vía metabólica de extraordinaria importancia, que es comparable con un molino, y cuya descripción completa se debe al trabajo de muchos científicos, pero fue integrada en 1935 por uno de ellos, Hans Krebs, en cuyo honor se le suele dar el nombre de ciclo de Krebs, o de los ácidos tricarbónicos.

## EL CICLO DE KREBS, PARA QUÉ SIRVE

Este ciclo de Krebs o ciclo de los ácidos tricarbónicos es fundamental para el metabolismo energético de la célula, ya que provee o alimenta de hidrógenos a la cadena respiratoria, y sirve de base para la producción de la mayor parte de la energía en los organismos aeróbicos. Se trata de un mecanismo complicado que llevó varios decenios descubrir y entender. En forma muy resumida, puede decirse que se alimenta de acetil coenzima A que proviene, como ya vimos, de los carbohidratos, las grasas y las proteínas. Se dice que es un ciclo porque termina en el mismo compuesto con que se inicia. La serie de transformaciones que se muestran en la figura III.4, señala dos cosas principales, la primera es que el ciclo puede alimentarse de moléculas de dos átomos de carbono (acetatos), que le ofrecen la acetil coenzima A, y durante una vuelta, estos dos átomos de carbono salen en forma de  $\text{CO}_2$ . Pero la finalidad más importante de este ciclo consiste en proporcionar un gran número de hidrógenos, que entran en la cadena respiratoria mitocondrial para ser oxidados (combinarse con el oxígeno), y así dar finalmente moléculas de agua y obtener ATP en el proceso.

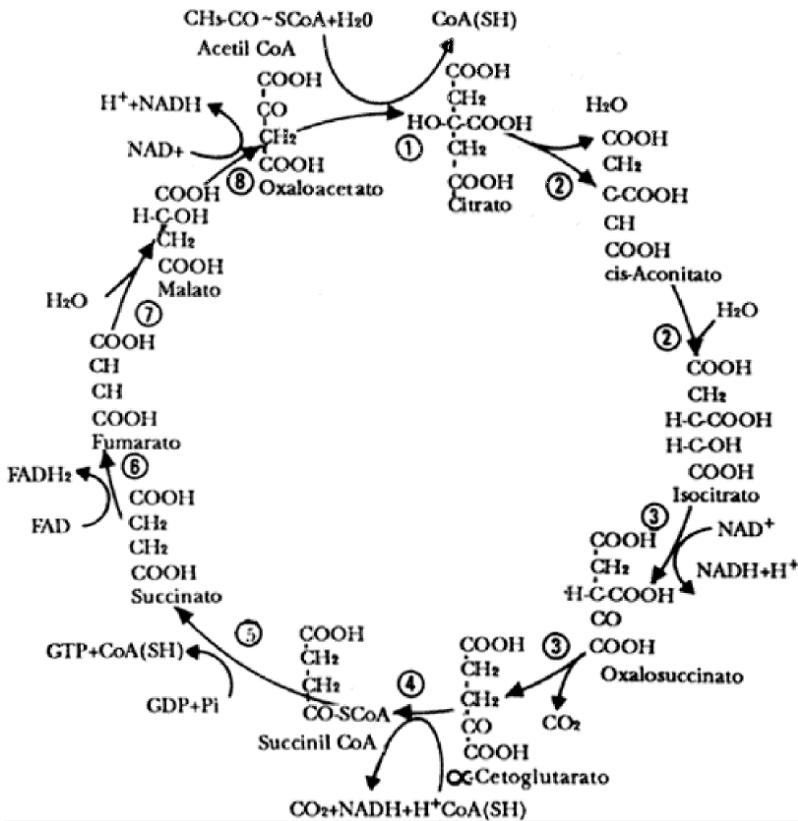


Figura III.4 Ciclo de Krebs. Las 8 enzimas que participan en el ciclo son: 1) citrato sintasa; 2) aconitasa; 3) isocitrato deshidrogenasa; 4) a cetoglutarato deshidrogenasa; 5) succinato tio-cinasa 6) succinato-coenzi Q reductasa; 7) fumarasa y 8) malato deshidrogenasa.

El fragmento de dos átomos de carbono, el acetato de la acetyl CoA, entra al ciclo de los ácidos tricarbónicos o ciclo de Krebs, el cual produce los agentes reductores que a su vez alimentan a la cadena respiratoria, la cual genera la fuerza que se requiere para la síntesis de ATP (véase la figura III.5).

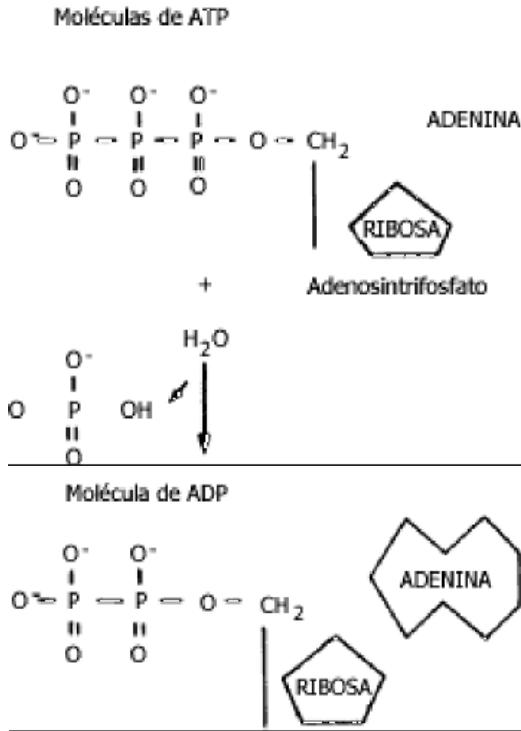


Figura III.5 Moléculas de adenosin trifosfato y adenosin difosfato.

Como ya se mencionó en el capítulo I, la molécula de ATP (Figura III.6) contiene tres grupos fosfato y libera energía cuando se desprende el último de éstos al ser "hidrolizado", al romperse con una molécula de agua. La cantidad de energía que se libera puede en muchos casos servir para que otra reacción química ocurra. Utilizando una analogía de la naturaleza, es como si el agua que corre por un río, que siempre va cuesta abajo, corriera un día cuesta arriba; esto que parece imposible, es lo que la célula tiene que hacer todo el tiempo para sobrevivir y dividirse, ya que en un organismo vivo existe una constante tendencia al desorden o al equilibrio con el medio que la rodea. Para evitar caer en este equilibrio o desorden de manera total, todo organismo

vivo debe gastar energía química a partir de la cual se sintetizan componentes celulares o bien se llevan a cabo procesos, como el transporte de nutrientes o el movimiento, que requieren de ella.

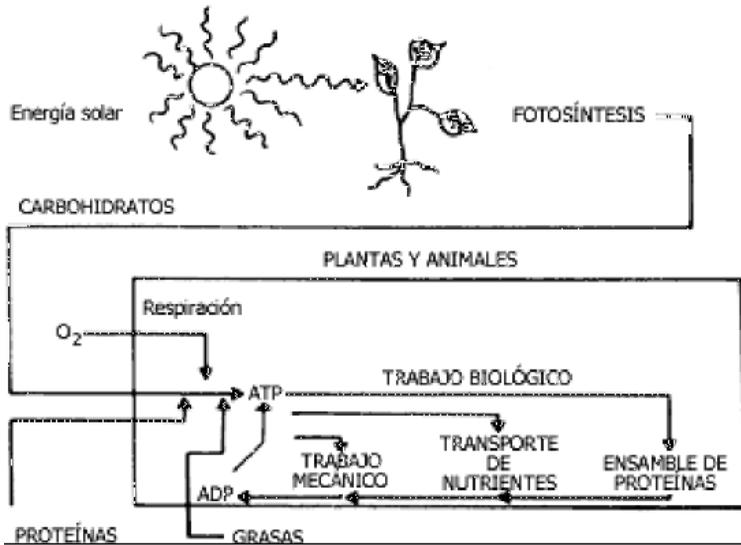


Figura III.6 El flujo de energía en los seres vivos.

## LA FOSFORILACIÓN OXIDATIVA: EL ATP Y EL PODER REDUCTOR

Como hemos visto, el metabolismo tiene dos componentes, uno de degradación y otro de síntesis; en pocas palabras, la fase degradativa produce ATP y la de síntesis lo utiliza. El ATP es probablemente la molécula más utilizada del organismo; esto ha hecho que un gran número de grupos de investigación en el mundo se hayan interesado en estudiar los mecanismos de síntesis de este compuesto. Veamos en

qué consiste este mecanismo conocido como fosforilación oxidativa, cuyo nombre proviene del hecho de que una molécula de ADP adquiere un fosfato más (se fosforila), simultáneamente con una serie de transferencia de electrones u oxidaciones de distintas moléculas. Para entenderlo debemos primero revisar las reglas de este juego que diseñó la naturaleza.

Uno de los principios en los que se basa este fenómeno es que las células poseen membranas que actúan como barreras impermeables que las aíslan del medio que las rodea; por otra parte, las células poseen en su interior organelos que a su vez están contenidos por membranas que los aíslan del medio que los rodea. De esta forma los ambientes dentro de cada estructura están regulados y pueden llegar a ser completamente diferentes. Esta es la clave del proceso de fosforilación oxidativa que ya mencionamos, o sea la síntesis de ATP; el proceso ocurre dentro de un organelo que se conoce como mitocondria en los seres superiores, y como cloroplasto en las plantas superiores. Ambos tipos de organelos son altamente especializados, y poseen dos clases de membranas, una externa y una interna; la externa es altamente permeable y permite el paso de muchas moléculas que se difunden libremente. La interna es impermeable y es en donde se encuentra la maquinaria para sintetizar el ATP (Figura III.7).

La maquinaria que se encarga de sintetizar la molécula de ATP está incluida o sumergida dentro de la membrana interna de la mitocondria y está constituida por proteínas especializadas en las funciones que a continuación describimos. Después de muchos años de investigación, se ha llegado a entender que existen proteínas que, a diferencia de la gran mayoría de las proteínas solubles, pueden llevar a cabo procesos de transporte de especies químicas que no pasarían a través de una membrana de no ser por ellas.

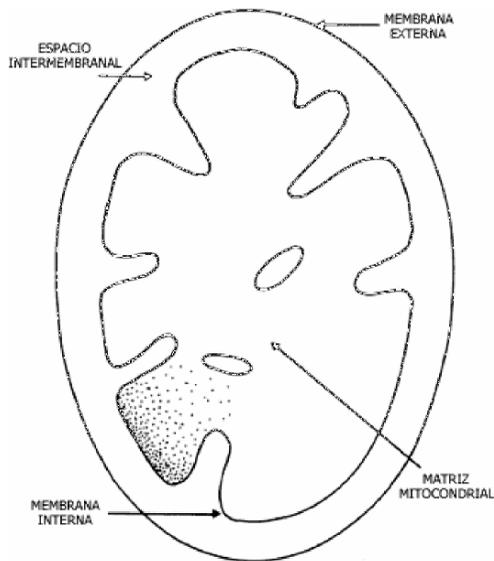


Figura III.7 Esquema de una mitocondria.

En la mitocondria estas proteínas aceptan y donan electrones, los cuales provienen originalmente de los hidrógenos que proporciona el ciclo de Krebs. Pero lo más importante es que, como ya mencionamos para el cloroplasto, tienen acoplados a su vez procesos de transporte. En otras palabras, cuando una molécula dona su electrón a una de las proteínas de la membrana mitocondrial, el electrón es transportado hacia el oxígeno, pero no en forma directa, sino a través de varios aceptores. En algunos de los pasos, de manera simultánea al transporte de los electrones hacia el oxígeno y aprovechando la energía con que esto sucede, se "bombean" protones, o hidrogeniones ( $H^+$ ) hacia el exterior de la mitocondria.

La esencia del proceso es que las proteínas de la membrana mitocondrial, que se llaman también transportadoras de electrones, se encuentran formando una cadena que termi-

na en el oxígeno, y que al funcionar bombea protones al exterior. Estos protones tienen una gran tendencia a regresar al interior, y representan una forma de energía. Así se genera una fuerza capaz de proveer la energía que requiere el proceso de síntesis de ATP.

Como se mencionó en el capítulo anterior para el caso de la fotosíntesis y el cloroplasto, los protones tienden a regresar por la propia energía que su diferencia de concentración a ambos lados de la membrana les proporciona. En el caso de las bacterias, sucede lo mismo, pero es la membrana externa la que hace las veces de la membrana mitocondrial. La fosforilación oxidativa se lleva a cabo en la membrana interna mitocondrial o en la membrana plasmática de las bacterias; utiliza como sustrato para el proceso al adenosín difosfato, al cual se añade un grupo de fosfato en el extremo de la molécula, gracias a que existe una proteína membranal que se encarga de ello. La energía que proporciona la diferencia de concentración de protones se aprovecha gracias a una enzima que se llama ATP sintetasa o ATP sintasa, para unir al ADP con el fosfato y dar el ATP. Esta proteína está muy ampliamente distribuida en los seres vivos, desde los organismos más primitivos, como las arqueobacterias, hasta las células de los organismos superiores, y en todas tiene esta función primordial de sintetizar el ATP.

## EL CONTROL DE LA UTILIZACIÓN DE LOS ALIMENTOS

En el caso de la glucólisis es muy claro; si se revisa el esquema, en dos de las reacciones el ADP es un componente de ellas. Puede notarse que si no hay ADP, no es posible que la vía completa funcione. Aunque, desde luego, en condiciones naturales no existe el estado en el cual el ADP se agote, es un hecho que éste se produce con mayor o menor velocidad, dependiendo del trabajo que realicemos, pues durante el trabajo intenso se gasta mucho ATP, que se

transforma en ADP y fosfato. Resulta así que la glucólisis en especial es indirectamente sensible al trabajo que hacemos, y si no trabajamos, no responde, o lo hace sólo para mantener nuestras funciones vitales, como el movimiento de los pulmones, nuestro corazón, etcétera.

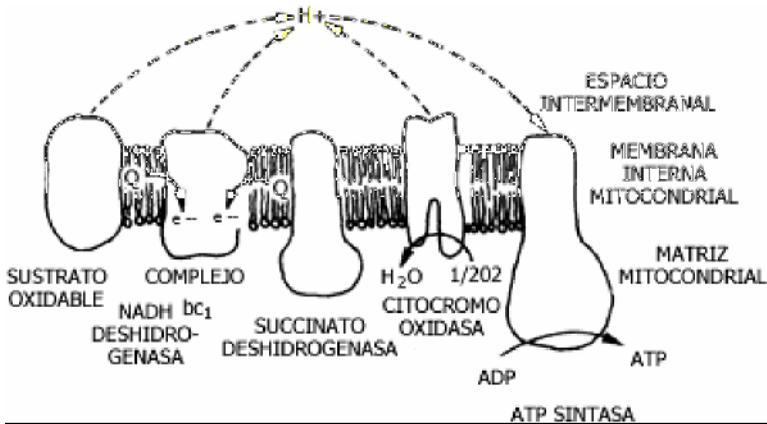


Figura III.8 Esquema de la cadena transportadora de electrones y de la fosforilación oxidativa. En la membrana interna mitocondrial se encuentra dispuesto el sistema que transforma la energía metabólica en química (ATP).

En el caso de la fosforilación oxidativa, aunque de forma no tan clara, también sucede que, incluso las mitocondrias aisladas, y aun presente cualquiera de los intermediarios del ciclo de Krebs que les proporcione los hidrógenos para alimentar la cadena respiratoria, no utilizan el oxígeno, a menos que tengan ADP y fosfato. Así resulta también que la respiración y la fosforilación oxidativa están controladas como se muestra en la figura III.8. Cuando realizamos trabajo se gasta ATP, que se convierte en ADP y fosfato, y en especial el primero, o sea el ADP, estimula la respiración. Aunque el proceso es más complicado y en él intervienen muchos otros mecanismos, podemos fácilmente percibir que si corremos un poco, o hacemos movimientos bruscos y

constantes, o cualquier otro tipo de ejercicio, se acelera nuestra respiración.

El otro elemento importante es que el trabajo celular no sólo acelera la respiración o la glucólisis; también debe aumentar el consumo de las sustancias o intermediarios metabólicos que provienen originalmente de nuestros alimentos. Por el mismo mecanismo, el consumo de alimentos está regulado por la cantidad de trabajo. En otro de los capítulos de este libro hablaremos de esta relación que existe entre el consumo de alimentos y el trabajo que realizamos.

## IV. EN QUÉ SE GASTA LA ENERGÍA

---

**T**ENEMOS ya claros los mecanismos de las transformaciones de la energía, de lo que podríamos llamar sus formas generales, como la energía luminosa o la de los enlaces químicos de las moléculas, en formas propias de los seres vivos: la del poder reductor o la de los enlaces del ATP entre sus dos fosfatos últimos, o las diferencias de concentración de sustancias neutras o cargas a ambos lados de algunas membranas. Otro de los grandes capítulos de la bioenergética consiste en el análisis de una gran variedad de cambios en los que estas formas de energía "participan" en ciertos procesos, para permitir su curso y constituir así la vida misma.

Ha quedado también ya claro que las formas de la energía de los seres vivos no son diferentes de otras, y que se les puede analizar y cuantificar mediante los conceptos más generales de la física o la fisicoquímica. Aunque en esta época es del dominio común que no hay una "fuerza vital" especial presente en los fenómenos relacionados o que constituyen la base de la vida, es interesante conocer con cierto detalle los componentes que los seres vivos tienen en particular para realizar las transformaciones de la energía.

En los capítulos anteriores revisamos los mecanismos mediante los cuales los seres vivos transforman la energía del exterior, la luminosa o la de los alimentos, en otras formas directamente aprovechables o utilizables por nuestros propios sistemas biológicos. Resta, sin embargo, describir ahora los mecanismos o lo que podríamos llamar el "destino", la finalidad de esas formas de energía, o más correctamente, el cambio de la energía en otras formas que, en conjunto,

representan la vida misma de los organismos.

## LA SÍNTESIS Y LA RENOVACIÓN DE LAS MOLÉCULAS

Aunque es real, no todos tenemos claro que la totalidad de nuestros componentes está en continua renovación. Éste es un concepto relativamente nuevo, que si bien era claro en el caso de algunos de los tejidos que nos componen, era difícil de imaginar para otros.

Hacia finales del siglo pasado, el científico francés Claude Bernard estableció que en los organismos vivos había sustancias que se podían, por así decirlo, "gastar" o desaparecer. Con base en experimentos realizados en animal a los que se les privaba del alimento, encontró que algunos de los componentes desaparecían antes de que se produjera la muerte; otros, por el contrario, parecían persistir, y si éstos desaparecían, se producía la muerte. Ante estos datos experimentales se propuso, y se aceptó, que había en los organismos vivos un "elemento variable" y uno "constante". Por lo demás, parecía lógico pensar que algunos componentes eran perennes; esto era más fácil en el caso del sistema nervioso, por ejemplo.

Sin embargo, con el descubrimiento de los isótopos de los átomos, que son elementos con un núcleo más pesado, y algunos de ellos radiactivos, el primero de los cuales fue el deuterio, se encontró, por principio de cuentas, que era posible introducirlo prácticamente en cualquier molécula del organismo que contuviera hidrógeno en forma natural. Pero, además, se descubrió que una vez marcadas las moléculas, esta marca desaparecía con una velocidad que no era la misma para todos los componentes, como grasas, azúcares o proteínas, y que también era variable para componentes iguales o semejantes. Si el estudio se hacía en diferentes órganos marcando una proteína, la albúmina por ejemplo, ésta aparecía y desaparecía con mayor rapidez en el plas-

ma sanguíneo que en el hígado de los animales.

Lo más interesante de los descubrimientos realizados era tal vez que ninguna sustancia química estudiada escapaba a esta renovación o recambio constante; parecía (y puede parecer aún) que esto es un gran desperdicio de energía diseñado por la naturaleza. De cualquier manera, no hubo más remedio que aceptar la realidad: los seres vivos invierten gran cantidad de materiales obtenidos del exterior y de la energía derivada de su degradación en mantener este continuo recambio de sus componentes.

No hay estudios detallados, y serían difíciles de realizar, sobre la velocidad con que se renuevan todos los distintos componentes de cada órgano o tejido de los organismos que existen en el planeta. Esto es explicable; todavía no describimos siquiera la totalidad de los componentes de uno solo de los organismos vivos, menos aún podríamos saber la velocidad con que individualmente se renueva cada uno de ellos. No obstante sí es posible saber en términos generales en qué se gasta la energía al renovarlos.

Cuando se sintetizan las moléculas grandes, es decir, cuando se forman a partir de otras más pequeñas, requieren de la formación de enlaces nuevos entre estas últimas. Una proteína se forma de aminoácidos que se unen unos con otros; una grasa implica la unión de ácidos grasos con glicerol y otros componentes; un polisacárido como la celulosa, el almidón o el glucógeno se forma por la unión de muchas, muchísimas moléculas individuales de glucosa (Figura IV.1). Cada uno de los nuevos enlaces que se forma implica, por así decirlo, la inyección o la administración de una cierta cantidad de energía, que resulta o proviene de la de otros enlaces. Si ya mencionamos que los enlaces químicos del ATP y el poder reductor son los modos principales en que se transforma la energía que existe en otros compuestos químicos, es fácil ver que para todos estos procesos de sín-

tesis hay presentes complicados mecanismos que implican, a final de cuentas, la transformación de la energía química de los enlaces del ATP en la propia de los enlaces de esas grandes moléculas de las cuales hay miles diferentes en nuestro organismo o en el de cualquier otro animal.

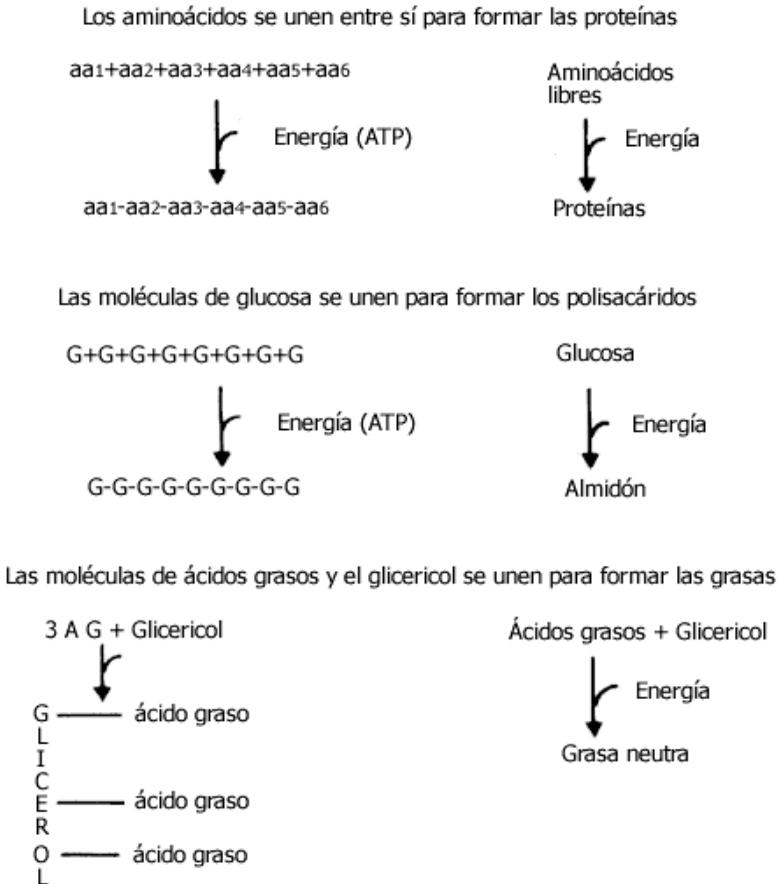


Figura IV.1 Las moléculas más simples se unen unas a otras para formar las más grandes, en un proceso que requiere energía que, directa o indirectamente proviene del ATP. Cuando las moléculas grandes se rompen (hiabolizan) para dar sus componentes, la energía de sus enlaces se transforma en calor.

La figura IV.2 muestra el proceso que tiene lugar ahora para la degradación de estas mismas moléculas. La ruptura en sus componentes ocurre por la simple introducción de una molécula de agua en los enlaces intermedios. Pero la energía que había en ellos no es utilizable; al romperse las uniones, esa energía química se transforma en calor.

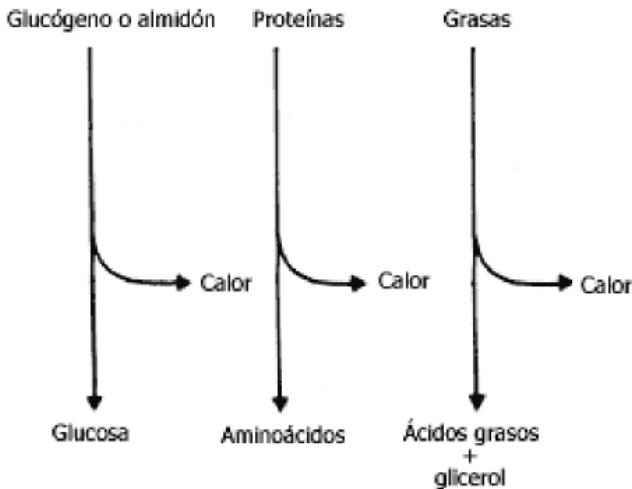


Figura IV.2 Cuando se rompen las moléculas más grandes para dar las unidades que las componen, la energía utilizada en sintetizarlas se transforma en calor.

Es así que para sintetizar o formar las moléculas grandes, sus enlaces se forman a expensas de la energía contenida en los del ATP. Las células deben entonces "gastar" energía, que a su vez proviene de otras formas, la luz en un principio, o los alimentos y sus componentes. Al degradarse esas moléculas, la energía se transforma o se "disipa" en forma de calor. El balance es a final de cuentas que una gran parte de la energía que se requiere para llevar a cabo esta constante renovación de sus componentes está conte-

nida en los alimentos de los seres vivos o de otras formas externas aprovechables por ellos.

## EL TRANSPORTE BIOLÓGICO

Los organismos que estamos acostumbrados a ver en la vida diaria, incluso nosotros mismos, tienen la necesidad de tomar del exterior sustancias para vivir. Los animales necesitan alimentos muy diversos que contienen a su vez una gran variedad de sustancias, y agua. Las plantas necesitan agua y algunas sustancias que, o bien pueden generarse en el mismo suelo, o debemos proporcionarles, como los fertilizantes, que no son otra cosa que diferentes tipos de sales de amonio y otros minerales. Los organismos unicelulares, como las bacterias o los hongos unicelulares, también deben tomar del medio en que viven materiales que les son indispensables para subsistir. Pero todos los seres vivos están rodeados de cubiertas protectoras que los aíslan del medio e impiden la pérdida de los materiales de que están compuestos. Estas cubiertas protectoras van desde la piel de los animales la corteza de los árboles, hasta la membrana de las células individuales, y los materiales que requerimos del exterior deben cruzar esa membrana o capa protectora para llegar al interior. Igualmente, los animales, los vegetales y las células deben eliminar a través de esas cubiertas aquellos materiales que les son innecesarios o hasta dañinos. (Para una exposición más detallada sobre el tema de las membranas, puede consultarse *Las membranas de las células*, número 18 de esta misma colección.)

Pero hay otra circunstancia; muchas de las sustancias que existen dentro de los seres vivos se encuentran en concentraciones mayores en su interior que en el medio en que viven. Por ejemplo, el potasio ( $K^+$ ) está casi siempre en todas las células a una concentración mucho mayor que las del medio que las rodea (Figura IV.3), y no es éste el único caso. Es un hecho conocido de todos que cualquier sustan-

cia colocada en un líquido, por ejemplo, tiende a distribuirse en éste por igual. Una gota de tinta colocada en un vaso con agua termina con el paso del tiempo por distribuirse uniformemente en todo el líquido. Esto se debe a que las moléculas del colorante tienen un movimiento constante que se debe a una forma de energía, la energía cinética, que resulta del simple hecho de encontrarse a una temperatura superior al cero absoluto; ese constante movimiento es el responsable de la distribución uniforme, y su origen es una forma de energía que las moléculas contienen. Como resultado de ello, cualquier sustancia tiende a desplazarse de los sitios de mayor a los de menor concentración.

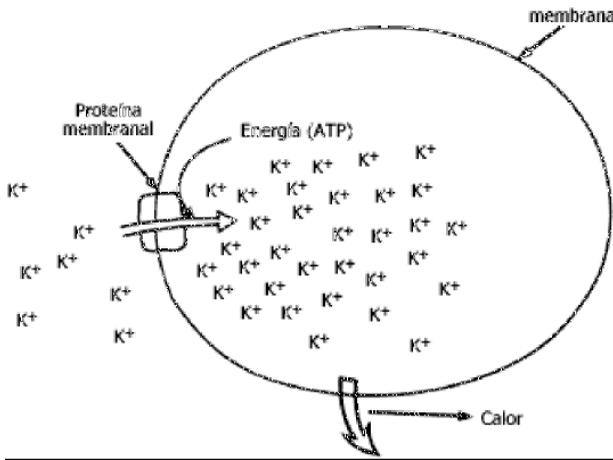


Figura IV.3 Para que los iones de potasio ( $K^+$ ) entren a una célula en la que se encuentran a mayor concentración que en el exterior, se necesita energía que suele provenir, directa o indirectamente, del ATP. Si el potasio sale a un medio de menor concentración, se disipa energía en forma de calor.

Es así que cada molécula o partícula de una solución tiene una cantidad de energía; la cantidad total de ésta depende de la cantidad de esa sustancia en un espacio dado. El caso

es el mismo que para el aire comprimido: la energía contenida en un tanque depende de la cantidad que se haya logrado introducir, y la energía se manifiesta como la presión. Para comprimir el aire se requiere energía; la salida del aire, a su vez, se puede utilizar para realizar trabajo moviendo una compresora, una turbina, etcétera.

Esta comparación es válida para el movimiento de las sustancias a través de las membranas. Para introducir una sustancia a una célula o a un organismo, en contra de su tendencia natural de movimiento, se necesita energía. En ocasiones inclusive hay sustancias que se mueven a favor de esa tendencia natural, pero aun así utilizan energía, simplemente para asegurar que, una vez en un lado de la membrana, ya no van a regresar al otro.

### *La absorción intestinal*

Aunque todos los días comemos materiales sólidos e ingerimos líquidos (agua), pocos estamos conscientes de las complicaciones que supone este proceso. Dado que no es el tema que estamos tratando, sólo señalaremos aquí que en el aparato digestivo, estómago e intestinos, tiene lugar primero un proceso de digestión, en el cual las moléculas grandes deben ser separadas en sus componentes más pequeños (digeridas). Así, el almidón del pan, pastas, papas, etc., se transforma en glucosa; las proteínas de la carne, huevos, leche y otros alimentos se convierten en los aminoácidos que las componen; las grasas, a su vez, se rompen en su mayoría para dar también ciertos componentes, entre los cuales destacan los ácidos grasos. Hay además sales minerales cuyos componentes deben también cruzar la pared intestinal para ser aprovechadas por el organismo.

Las sustancias que resultan de la digestión no pueden cru-

zar libremente la pared intestinal; sólo una parte de los ácidos grasos y otras sustancias puede ser absorbida en forma directa. Ni siquiera puede pensarse en que todas se absorban por el intestino con la misma velocidad para pasar al interior del organismo. Tiene lugar un complicado mecanismo que requiere de un gran número de moléculas (proteínas) que están en las membranas de las células intestinales y son las que primero reconocen a las sustancias que deben ser absorbidas; es decir, no cualquier sustancia entra a las células por cada uno de estos sistemas, ni tampoco lo hace con la misma velocidad. Sólo una vez reconocidas y aceptadas se les permite el paso a través de la pared intestinal.

Volviendo al tema de la energía, es bueno preguntarse cuál es el componente energético de este proceso. Hay que tomar en cuenta que muchas de esas sustancias se absorben, y al absorberse deben transformarse en otras que no puedan regresar por el mismo sistema que permitió su entrada. Éste es, por ejemplo, el caso de la glucosa y otros azúcares: al entrar se les transforma, uniéndoles un fosfato (Figura IV.4) que garantiza que el mismo sistema que los trajo al interior de la célula ya no los reconozca, impidiendo así su salida. El fosfato que se les une, por otra parte, proviene del ATP, y por tanto su unión representa el gasto de energía. Pero el proceso no termina ahí, la célula de la pared del intestino debe, luego, en el lado que ve hacia el interior del organismo, quitar de nuevo el fosfato al azúcar y pasar éste hacia el interior propiamente dicho. De esta forma, para tomar una molécula de glucosa del intestino (absorberla), se gasta al menos un fosfato de alta energía del ATP.

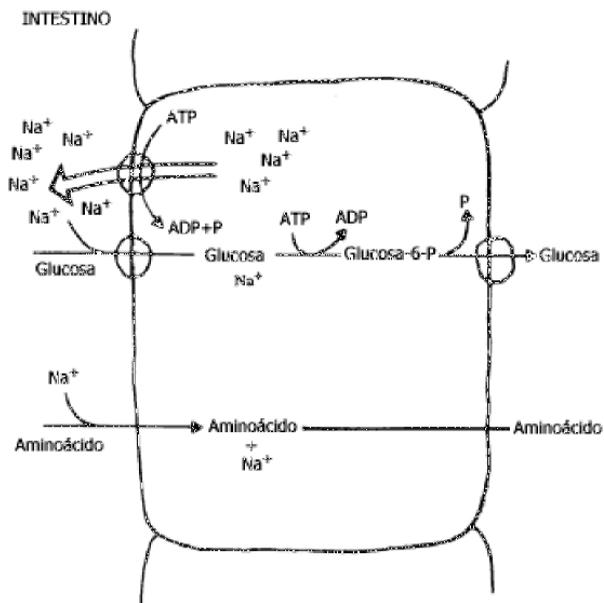


Figura IV.4 Algunos aspectos sobre la energía y el transporte de los azúcares y los aminoácidos en el intestino.

Hay otras sustancias que deben capturarse mediante procedimientos diferentes. Los aminoácidos, por ejemplo, no siempre están en el intestino en concentraciones altas; por tanto debe haber un mecanismo que asegure que se puedan utilizar, aun si sus cantidades son pequeñas. Para ello las células del intestino invierten energía, no directamente en la tarea de meterlos a la célula, sino en expulsar iones de sodio ( $\text{Na}^+$ ) al exterior. Dado que entonces habrá mayor concentración de éstos en el exterior, su tendencia natural es regresar al interior de la célula, y hay un sistema capaz de aprovecharla para introducir, y basta concentrar dentro de las células, grandes cantidades de aminoácidos (Figura IV.4). Veamos pues que, para este caso, si bien el gasto de energía es indirecto, en cierto modo tiene lugar en dos pasos.

## *La absorción por las raíces*

También las plantas deben tomar, aunque en menor diversidad, sustancias que hay en el suelo para nutrirse. Para ellas el proceso no es mucho más simple; los vegetales requieren en cantidades grandes algunos minerales más o menos abundantes y amonio, pero también una gran cantidad de otros minerales que se encuentran en muy pequeña cantidad en el suelo, y que por tanto deben ser absorbidos mediante sistemas de altísima eficiencia y gran selectividad. Así como para las células intestinales hemos dicho que hay un sistema que se encarga de bombear el sodio al exterior, en los vegetales hay sistemas semejantes, aún no conocidos todos ellos, que también son capaces de tomar directamente del exterior algunas sustancias y concentrarlas en el interior, utilizando directamente la energía de los enlaces del ATP.

## *El transporte a través de las membranas celulares*

Una vez que las sustancias del exterior son capturadas por los órganos especializados: las raíces de las plantas o intestino de los animales, y también por las numerosas transformaciones internas de los organismos, resulta una enorme variedad de sustancias, tanto dentro como fuera de las células. Todas están sujetas a un tráfico de gran intensidad; deben ir y venir sin cesar de un lado a otro, y muchas son producidas por unas células y utilizadas por otras, para lo cual deben cruzar, de salida, la membrana de aquella que las produce, y de entrada, la membrana de la que las recibe. Así pues, sucede que no sólo en las membranas de las células intestinales o las de las raíces tie que haber numerosos sistemas de transporte; esto se requiere por fuerza también en todas las células del interior. Nuevamente, en todos esos casos se debe invertir primero una gran cantidad de energía

en producir los sistemas de transporte, que generalmente son proteínas membranales, y además, las células tienen sistemas que en su mismo proceso de funcionamiento necesitan energía. Uno de los sistemas más universales en los animales es la llamada bomba o ATPasa de sodio y potasio, que se encarga de una función importantísima: mantener alta la concentración celular interna de potasio y baja la de sodio, en contra de lo que sucede en el exterior, donde la concentración de potasio es baja y alta la de sodio. El funcionamiento de la ATPasa se ilustra en la figura IV.5. Para cada dos iones de potasio que entran y tres de sodio que salen, se necesita gastar una molécula de ATP. Este sistema funciona en todas las células animales y su funcionamiento implica un gasto constante de energía. Las células vegetales también tienen sistemas para mantener un contenido elevado de potasio en su interior, y sistemas semejantes para mantener la composición ideal de iones del medio interno y del que las rodea.

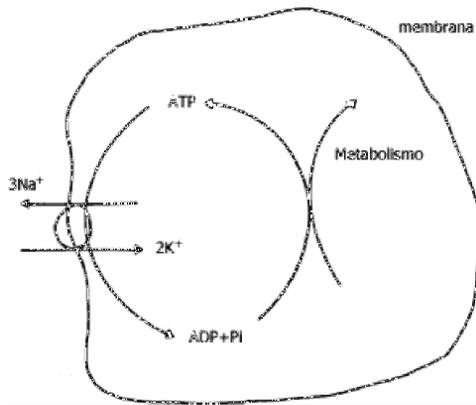


Figura IV.5 La llamada "bomba" de sodio, que utiliza la energía del ATP para mantener una elevada concentración interna de potasio ( $\text{K}^+$ ) y baja concentración de sodio ( $\text{Na}^+$ ) en las células de los animales.

Aunque hemos descrito la existencia de sistemas para mantener las concentraciones de potasio y sodio dentro y fuera de las células, hay muchos otros que conservan las concentraciones de diferentes iones, como el fosfato, el cloruro, el magnesio, el calcio, e inclusive algunos que deben existir en concentraciones extremadamente bajas pero que son necesarios para el funcionamiento celular.

Además del enorme tráfico de sustancias que hay en todas las células de un organismo, es importante considerar la cantidad de sales que ingerimos diariamente, por ejemplo, de cloruro de sodio que es la sal común, y que son absorbidas por el intestino y deben ser eliminadas por el riñón. Éste es otro ejemplo de una complicadísima combinación de estructuras que están diseñadas no sólo para filtrar constantemente nuestra sangre, sino además para mantener una composición invariable de nuestro líquido interno y finalmente de todo nuestro organismo.

Pero la complicación no termina ahí; así como los organismos están constituidos por órganos, tejidos y células que deben mantener un constante intercambio de sustancias, dentro de las células también hay una estructura y compartimentos separados por membranas. También aquí se deben establecer intercambios constantes, y las membranas deben contar con sistemas de transporte con características semejantes a las que hemos mencionado para otros sistemas. Las mitocondrias, el núcleo, los lisosomas, etc., deben mantener un activo intercambio de materiales, y ello implica que deben pasar por sistemas especiales a través de las membranas de los diferentes compartimentos.

### *Los organismos unicelulares*

También en el enorme mundo de los microorganismos, las bacterias, los protozoarios, las levaduras, etc., existen los

mismos problemas. Una célula cerebral vive en un ambiente más o menos constante que le permite realizar una serie de actividades de gran especialización, pero que no requiere de una adaptación a condiciones diferentes ni variables de la solución que la baña. Sin embargo, una bacteria en el curso de su vida puede enfrentar condiciones de gran variabilidad. Lo mismo puede encontrarse en un medio nutritivo rico, que en otro en el cual apenas si habrá huellas de los materiales nutritivos y sales que necesita para vivir. Es por esta razón que los microbios necesitan de una gran variedad de sistemas de transporte para vivir. Por ejemplo, no es raro encontrar que una bacteria posea un sistema capaz de tomar sustancias del medio con una gran velocidad, pero con una afinidad relativamente baja, y que al encontrarse en un medio en el que ciertos materiales nutritivos disminuyen, desarrolle la capacidad de capturarlos con una gran eficiencia, aun si están en concentraciones sumamente bajas. Es claro, nuevamente, que para ello se requiere de energía.

Asimismo existen células en las cuales el transporte es tal vez el elemento esencial de su gasto de energía, pues su funcionamiento está directamente relacionado con él. Tal es el caso de las células nerviosas, que transmiten los impulsos nerviosos mediante movimientos de iones de sodio y de potasio a través de sus membranas.

## ENERGÍA Y MOVIMIENTO

Esta forma de gasto de energía es tal vez la más simple de comprender; desde la escuela elemental se nos explica el papel de los alimentos como elementos necesarios para la realización del ejercicio físico. También es bien sabido que al hacer ejercicio físico se acelera la respiración; la ecuación que señala los materiales que intervienen en la degradación de los azúcares, como un ejemplo, puede explicar la relación entre el ejercicio físico, la respiración y el consumo o

gasto de los alimentos:



Por otra parte, en el capítulo III se señalaron los mecanismos de control de la respiración y del metabolismo que permiten obtener energía en forma de ATP, y cómo éste se utiliza para realizar diferentes tipos de trabajo. Ahí se mostró de nuevo el mecanismo de control del metabolismo por el ADP, y la manera en que se relaciona el trabajo y el gasto propiamente dicho de energía.

El mecanismo de enlace entre el ATP y el trabajo mecánico es, por otra parte, sumamente simple. El ATP es utilizado directamente por las fibras musculares para contraerse; la energía del último enlace de fosfato es la que sirve en forma directa para este fin. Visto así, éste es tal vez el mecanismo más simple de conversión de una forma de energía, la química del ATP, en otra, la mecánica de la contracción muscular.

## INFORMACIÓN Y ENERGÍA

Ya hemos visto que hay un gasto muy grande de energía cuando se lleva a cabo una serie de funciones que pueden ser más o menos obvias dentro de los organismos. Sin embargo, es necesario considerar que para que éstas se lleven a cabo, se requieren muchísimas moléculas que las ejecuten. Así, hay enzimas para mover todo el metabolismo, hay proteínas que funcionan en las diferentes membranas celulares y que se encargan de mover a las diferentes sustancias de un lado al otro; obviamente hay moléculas que son las responsables del movimiento de las células o de los organismos; aun las células vegetales, que pertenecen a or-

ganismos que no se mueven, tienen una gran movilidad que se manifiesta durante muchas de sus funciones. El elemento común de estas moléculas ejecutoras de las diferentes funciones celulares es que son proteínas, es decir, moléculas muy complicadas formadas por la unión de 20 aminoácidos diferentes en número y orden, que son perfectamente constantes y definidos, pero característicos para cada una de ellas y diferentes de las otras proteínas, que así dan la posibilidad de realizar tantas y tan variadas funciones con precisión verdaderamente impresionante en todos los casos.

Todos los organismos deben tener, de algún modo, no sólo la información necesaria para sintetizar todas estas moléculas, sino también la capacidad de transmitirla prácticamente sin equivocación de unas células a otras; y lo que más llama la atención es que esta transmisión permite conservar las características de todas y cada una de las células y da lugar a la generación ininterrumpida de individuos esencialmente iguales a través del tiempo.

Esta información, por otra parte, y especialmente desde el punto de vista de nuestro tema de análisis de los seres vivos, requiere de energía para mantenerse y para interpretarse. La base de esto es la existencia de moléculas que la contienen, y que deben poderse duplicar durante la duplicación de una célula; pero este complicado sistema de síntesis implica un gasto de energía. Luego, para que esa información se pueda convertir en realidad, hay también un complejo sistema de ejecución o interpretación, que requiere igualmente de un gasto grande de energía.

Todos sabemos que la molécula en la que se mantiene la información para la síntesis de todos los componentes de una célula es el DNA (abreviatura del nombre en inglés del ácido desoxirribonucleico), al cual algunos llaman también ADN. De manera fundamental, podemos considerar el gasto de

energía que se requiere para duplicar y mantener en cada célula en forma constante, la información genética y transmitirla; luego, hay otro gasto necesario para que esta molécula exprese esa información de manera útil para las células, es decir, mediante la síntesis de moléculas de proteína.

La síntesis del DNA implica, primero, la síntesis de las moléculas llamadas nucleótidos, a partir de las cuales se va a formar. La figura IV.6 muestra esquemáticamente los nucleótidos (que en este caso se llaman desoxinucleótidos, porque el azúcar que en ellos interviene es la desoxirribosa y no la ribosa); éstos se parecen al ATP, pero pueden tener, en lugar de la adenina, otras bases orgánicas: la guanina, la citosina y la timina. Sin embargo, todos se llegan a sintetizar como los trifosfatos, semejantes al ATP, porque para sintetizar al DNA la enzima encargada de ello, utilizando como molde a otra molécula ya existente de DNA, va formando la nueva a partir de los trifosfatos, pero eliminando al formar cada enlace a dos de los fosfatos, los cuales son de "alta energía", igual que en el caso del ATP. Esto da idea de la cantidad de energía que se requiere para duplicar la molécula de DNA, que en primer lugar tiene dos hilos, y en segundo, es muy larga, ya que cada aminoácido se codifica con tres nucleótidos.

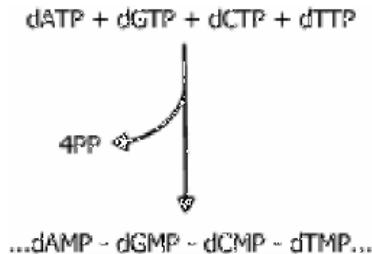


Figura IV.6 Síntesis de una cadena de nucleótidos en el DNA: Cada nucleótido que se une implica la ruptura de dos fosfatos.

La historia, además, no termina ahí; el DNA no existe en las células en forma libre; se debe asociar a otros componentes, de los cuales los más abundantes son proteínas llamadas histonas, que puede decirse que lo "vistan y le permiten convertirse en una estructura que también nos es conocida: los cromosomas de las células (las bacterias tienen su DNA desnudo de estas proteínas). Así pues, el solo hecho de mantener la información en una célula implica un gasto muy alto de energía. Es necesario mencionar inclusive que el DNA está sujeto a numerosos accidentes en su vida; la naturaleza no se permite el lujo de que su información se deteriore, y cuenta con mecanismos para reparar sus moléculas cuando llegan a sufrir daños.

La información contenida en el DNA debe luego contar con un sistema de utilización, para que a partir de ella se sintetizan las proteínas, que serán las verdaderas ejecutoras de toda la información que hemos mencionado. Para ello, a partir del DNA de cada célula, pero sólo de una parte de él, se producen "mensajes" mediante un proceso que por analogía con un mecanismo de información se llama "transcripción", y en el cual se produce el ácido ribonucleico (RNA), que algunos abrevian como ARN. En especial, el RNA que lleva estos mensajes, leídos o transcritos del DNA, recibe el nombre de RNA mensajero, y se le abrevia *m* (Figura RNA IV.7).

La síntesis de las proteínas no se realiza simplemente por la formación del RNA<sub>*m*</sub> en el proceso intervienen también los ribosomas, que a su vez están formados en gran parte por otro tipo de RNA, el llamado ribosoma (RNA<sub>*r*</sub>). También interviene otro tipo de RNA, el llamado de transferencia (RNA<sub>*t*</sub>). Lo interesante en el proceso es que todos los tipos de RNA se sintetizan "leyendo" del DNA la información que se encuentra en él contenida, en un proceso en el cual los nucleótidos trifosforilados ATP, GTP, CTP y UTP se unen unos con otros mediante reglas sencillas, utilizando como

"molde" al DNA, y eliminando o "gastando" en la unión de cada uno, dos de los fosfatos, como se hizo en el caso del DNA. Así, la lectura de esa información para obtener las moléculas de RNA necesarias para la síntesis de las proteínas cuesta a las células una elevada cantidad de energía.

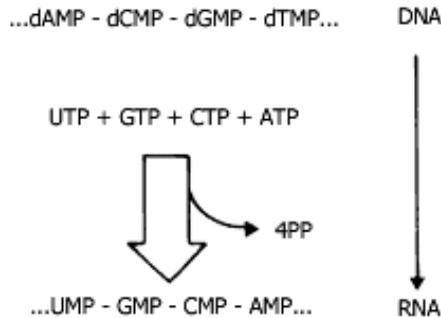


Figura IV.7 Esquema de la transcripción de un mensaje del DNA al RNA. Cada nucleótido que se agrega implica el "gasto" de dos fosfatos de alta energía. Este mismo mecanismo opera en la síntesis del RNA mensajero (RNAm), el ribosomal (RNAr) y el de transferencia (RNA t).

Pero además de todo esto, hay que considerar que los ribosomas, organelos en los cuales se realiza la síntesis misma, están compuestos no sólo por el RNA, sino por toda una serie de enzimas que catalizan las distintas reacciones, y también hay enzimas adicionales aparte de los ribosomas, que intervienen en el proceso. Visto así el problema, se puede tener una idea vaga pero más o menos aproximada de la magnitud de gasto de energía que la conservación y el procesamiento de la información contenida en las células puede costarles.

## LOS REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA

Ya se mencionó cómo se puede medir la cantidad de energía que se "libera" en forma de calor al quemar una cierta cantidad de glucosa; la verdad es que lo que se mide es la energía que se transforma en calor durante el proceso de oxidación del azúcar.

Cualquier organismo vivo, por el solo hecho de existir, tiene que realizar numerosas transformaciones de energía para poder mantener todas las funciones que de alguna forma se han mencionado aunque sea parcialmente en es capítulo. Todos los días ingerimos alimentos que se degradan, y la energía de sus enlaces se transforma en la de los del ATP, y ésta a su vez es la que, en lo fundamental, es también aprovechada por muy diferentes sistemas para la realización de las funciones vitales de los organismos. De suerte que la energía del ATP puede ser aprovechada para el movimiento, la síntesis de ciertas moléculas, el movimiento de otras a través de las membranas, etcétera.

Pero tal vez lo más importante de todo este proceso es que se trata de un ciclo, es decir, desde el punto de vista mecánico iniciamos nuestras actividades diarias en la mañana, y las terminamos en la noche, o a la mañana siguiente esencialmente en el mismo sitio que el día anterior. Esto quiere decir que no llegamos a acumular ninguna forma de energía mecánica en nuestra vida diaria, y cada día, la que desarrollamos termina por convertirse también en calor. De la misma forma, cada día que transcurre, salvo en el caso de los niños, sobre todo pequeños, el número y cantidad de moléculas de nuestro organismo se mantiene constante. Se "gasta" energía para sintetizar proteínas, moléculas grandes de azúcares y grasas, pero cuando éstas se degradan la mis cantidad de energía se transforma en calor.

También cada día, no obstante que todas nuestras células

realizan una gran actividad de transporte de moléculas de diferentes tipos, el balance diario es cero. Otra vez, la energía que se gasta o utiliza para mover las moléculas, cuando éstas regresan a su estado anterior es liberada o transformada en calor.

En conjunto, pues, cada día la energía de las moléculas con que nos alimentamos se utiliza para la realización de todas nuestras funciones, pero al final, es transformada en calor. Así, el resultado diario es que, en términos de energía, toda aquélla contenida en los alimentos es transformada en calor. Por otra parte, la cantidad de éste es un excelente indicador de la energía que hemos utilizado para realizar nuestras funciones. A fin de cuentas, tal como lo predijo Lavoisier en el siglo XVIII, la energía calorífica que produce un ser vivo alimentado con glucosa, por ejemplo, es la misma que la que se libera por la combustión de esa sustancia en un calorímetro. De aquí resulta que es también posible introducir a un animal o a un ser humano en un espacio cerrado, semejante en todo a un calorímetro, y medir el calor que desprende como resultado de las transformaciones de energía que ocurren en su interior.

Si además es posible saber la cantidad de calor que se desprende de los azúcares, las grasas y las proteínas, es también posible, conociendo el desprendimiento de calor de una persona, saber la cantidad de alimentos que necesita para satisfacer los requerimientos de energía. Se sabe que un individuo adulto que realiza una actividad promedio diaria necesita alrededor de 30 kilocalorías por cada kilogramo de peso corporal. Un individuo de 70 kilogramos, por ejemplo, requiere alrededor de 2 100 kilocalorías diarias distribuidas entre sus diferentes alimentos.

## V.

# LOS ALIMENTOS QUE NOS PROPORCIONAN ENERGÍA

---

**L**OS requerimientos de energía de un individuo, o cualquier organismo superior, deben ser proporcionados por los alimentos. El origen de la energía en nuestro planeta es el Sol; las plantas son las encargadas de capturar en primer término su energía y almacenarla en una forma primaria de alimentos, los cuales pueden ser consumidos directamente por los animales o los humanos, o bien pueden establecerse las llamadas cadenas alimenticias, en las cuales algunos animales se alimentan de plantas, pero hay otros que se alimentan de otros animales, formando las cadenas que se mencionan en el capítulo siguiente (véase también el capítulo I).

Las diferentes sustancias que componen a los alimentos, esto es carbohidratos, grasas y proteínas, pueden proporcionar a los organismos vivos diferentes cantidades de energía al degradarse. De esta energía, una buena parte, alrededor de 40%, se puede capturar en los enlaces del ATP, y aprovechar para la realización de las funciones de las células y tejidos. También se señaló que la energía contenida en los enlaces del ATP, aunque se utiliza para la realización de las funciones vitales, una vez que éstas tienen lugar, el regreso al estado basal provoca que la energía que se les aplica se libere o transforme en calor. Resulta pues que la energía contenida en los enlaces de una molécula que se ingiere con los alimentos, al terminar un periodo largo de tiempo, se llega a transformar totalmente en calor. Esta energía es, como también ya se ha insistido muchas veces en el curso de este libro, igual a la que se obtiene por

la combustión libre de esas sustancias en presencia de oxígeno, tanto para las grasas como para los azúcares, y es un poco diferente para las proteínas en el caso de los seres humanos, ya que degradación no llega hasta amoníaco, sino que da lugar a otra molécula con un nivel energético un poco más elevado, la urea.

De cualquier manera, y dado que las cifras que se manejan en estos estudios no tienen que ser precisas, se acept que los llamados valores calóricos de las principales sustancias que componen los alimentos son los siguientes:

Azúcares: 4 Calorías por gramo

Proteínas: 4 Calorías por gramo

Grasas: 9 Calorías por gramo

Es necesario señalar que estas Calorías (con C mayúscula) son las llamadas Kilocalorías, que equivalen a mil calorías pequeñas, las cuales se definieron en el capítulo I de este libro.

Así, un humano común de 70 kilogramos de peso, como el mencionado en el capítulo anterior, que requiere de 2 100 kilocalorías diarias para realizar sus actividades, se podría alimentar, en teoría, con un poco más de 500 gramos de azúcares o proteínas, o con unos 230 gramos de grasas. Pero es claro que no podemos tomar una dieta formada sólo por puros azúcares, ni de pan, ni de carne, ni de grasa; lo habitual es que esté compuesta de una variedad más o menos grande de sustancias. Si sabemos la cantidad aproximada que una persona necesita, es posible también calcular al menos de manera aproximada, las cantidades de los diferentes alimentos que pueden satisfacer sus requerimientos energéticos.

Uno de los factores más importantes a considerar en el manejo cuantitativo o cálculo de las dietas, es que no se utili-

zan cantidades exactas. Sería ilógico pensar que un individuo tuviera una balanza más o menos precisa para pesar todos sus alimentos, e igualmente absurdo sería que midiera todas sus actividades físicas para adaptarlas con precisión a los contenidos o valores calóricos de los alimentos que ingiere. Las cantidades de que se habla suelen ser más o menos aproximadas, y de ninguna manera se trata de llevar un control estricto de los alimentos. Además, en la mayoría de los individuos hay mecanismos de regulación del hambre que les permiten mantener dentro de límites razonables la cantidad de alimentos que ingieren, y con ello su peso corporal.

La dieta de casi todos los individuos, por costumbre, está compuesta en alrededor de 60% de su contenido calórico, por azúcares. Esto daría para el individuo promedio de nuestro ejemplo 1 260 calorías, que a razón de 4 Calorías por gramo, se pueden obtener de 315 gramos de estas sustancias.

CUADRO 1. Composición de la dieta habitual de un individuo relativamente sedentario

<i>Componente</i>	<i>Gramos</i>	<i>Calorías</i>	<i>Porcentaje de calorías</i>
Carbohidratos	315	1 260	60
Proteínas	70	280	13
Grasas	62	560	27

Dado que las proteínas tienen además un valor especial en la nutrición de los organismos animales, es importante también un valor mínimo de estas sustancias, el cual se ha calculado en un gramo por kilogramo de peso para los individuos adultos. En el caso de nuestro ejemplo, la ingestión

diaria de 70 gramos de proteína (a razón de 4 Calorías por gramo) daría aproximadamente 280 Calorías más.

Esto dejaría, del total, una cifra también aproximada de 560 Calorías grandes o kilocalorías, que deberían satisfacerse con grasas, es decir, que si un gramo de grasa aporta 9 Calorías, la dieta se completa con poco más de 60 gramos de estas sustancias.

Del valor calórico de la dieta se ha calculado una cifra de aproximadamente 10% que se gasta para el manejo, por parte del organismo, de una dieta habitual. La razón es que el proceso de la digestión y absorción de los alimentos representa una inversión más o menos importante de energía para poner los alimentos en verdad a disposición de las células, tejidos y órganos. La cifra de 10% es un tanto general, pues son diferentes las cantidades de energía requeridas para procesar proteínas, carbohidratos o grasas.

El siguiente paso para calcular nuestra dieta sería conocer el contenido de azúcares, proteínas y grasas de los diferentes alimentos. Este trabajo ya ha sido realizado por numerosos investigadores en el mundo; en México, en particular, una gran parte de las determinaciones de estas cifras, ha sido realizada por Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. Hay cuadros que señalan por una parte el contenido de azúcares, grasas y proteínas de los alimentos, así como también el contenido de Calorías por cada concepto, y el total. También existen cuadros ya elaborados en los cuales se establece el contenido de estas sustancias y el valor calórico de porciones de alimentos ya elaborados, incluso de guisos de distintos tipos. Finalmente, hay también dietas completas con diferentes valores aproximados en Calorías que pueden ser utilizadas por diferentes personas, según su peso y su actividad física (Cuadro 2).

CUADRO 2. Contenido de carbohidratos, proteínas y grasas de distintos alimentos preparados

<i>Alimento</i>	<i>Porcentaje de humedad</i>	<i>Porcentaje de grasas</i>	<i>Porcentaje De proteínas</i>	<i>Porcentaje de carbohidratos</i>	<i>Calorías en 100 g</i>
Arroz cocido	78	0.12	1.60	19.48	84
Arroz guisado	70	4.95	2.15	22.12	142
Leche cruda devaca	89	3.45	3.38	1.0	49
Pescado, carne	78	0.63	20.10	ü	86
Res, filete	86	10-15	22-10	ü	175-178
Huevo fresco	74	11.50	12.80	ü	155
Caldo de carne o de pollo	96	1.0	1.0	1.0	13

Hay algunos datos que deben señalarse, pues con frecuencia pasan desapercibidos para muchas personas, como hecho de que el valor calórico de los alimentos aumenta muchísimo al guisarlos o freírlos. Otro elemento importante que suele no tomarse en cuenta es el valor calórico de los refrescos y en general de las bebidas azucaradas. En términos generales, un vaso de limonada o de refresco se endulza con dos o tres cucharaditas de sacarosa (el azúcar común), que son alrededor de 10 gramos y tienen un valor calórico de alrededor de 40 Calorías cada una. Son muchos los individuos que exceden el valor de la dieta que requieren para sus actividades con la ingestión de grandes cantidades de estas bebidas.

Hay otro concepto muy importante en la evaluación de la dieta de los individuos; un oficinista, un profesor, una secretaria, un estudiante, que por concepto de su ocupación desarrollan una actividad física de no mucha intensidad, no

pueden necesitar el mismo aporte calórico en la dieta que un peón de albañil, un cargador, un mecánico o un deportista. Las actividades del segundo grupo suponen un requerimiento de cantidades mayores de alimentos que los correspondientes a las primeras.

El cuadro 3 muestra algunas variaciones que se dan en la producción de calor según la actividad realizada por diferentes personas.

CUADRO 3. Variaciones en la producción de calor según la actividad realizada.

<i>Ocupación</i>	<i>Cal / Kg de peso por día</i>	<i>Calorías totales por día para un individuo de 70 Kg</i>
Mecanógrafas, sastre	30 - 35	2 100 - 2 500
Mecánico, soldador, pintor	40 - 45	2 800 - 3 150
Peón, estibador, leñador	50 - 70	3 500 - 4 900

Es claro que los requerimientos calóricos no están dados de manera uniforme en el tiempo; sólo una parte del día se desarrolla la actividad propia, según la ocupación del individuo, y el resto del tiempo hay un requerimiento calórico que se denomina *basal*, porque es el que se necesita para mantener las funciones vitales en estado de reposo, como el latir del corazón, el movimiento del intestino, el funcionamiento del riñón, del hígado, del sistema nervioso, etc. El resto del requerimiento es el resultado de la actividad muscular o física que la ocupación misma implica mientras se está realizando.

La razón de ello es muy simple; el trabajo físico da lugar a la

ruptura del ATP y a la producción de ADP. La presencia de este último es lo que realmente controla el metabolismo. Ya quedó claro al tratar de la glucólisis y la fosforilación oxidativa que el metabolismo energético avanza en la medida en que hay ADP.

Curiosamente, se han hecho estudios sobre el gasto de energía que requiere el ejercicio mental y se ha encontrado que la producción de calor por un individuo que realiza un esfuerzo mental intenso, prácticamente no se modifica. Se hace incluso la broma de que para tres horas de ejercicio mental intenso, se requiere la energía contenida en un cacahuate (maní). Tal parece que el cerebro consume siempre la misma cantidad de energía.

## LA OBESIDAD

El principal mecanismo de control del gasto de las sustancias que provienen de los alimentos es, pues, el ADP que resulta del gasto de ATP, principalmente por la actividad física. Aunque, en principio, para todas las sustancias habría vías que llevan a su almacenamiento, un individuo puede llegar a guardar una cantidad relativamente limitada de azúcares, principalmente en forma de glucógeno. Salvo ciertos fortachones, la cantidad de proteína que es posible almacenar es relativamente pequeña y, en el último de los casos, lo que se forma es tejido muscular, que no puede considerarse estrictamente como un almacén. El único grupo de sustancias para las cuales hay en los animales superiores y en los humanos una capacidad enorme de almacenamiento, es el de las grasas.

Un individuo puede, con cierta facilidad, almacenar una cantidad de grasa equivalente a su propio peso, y en ciertas ocasiones mucho más que eso. Esta acumulación de grasa, la obesidad, en casi todos los casos se debe a ingestión de

una cantidad de alimentos, en términos de valor calórico, superior a la que requiere la actividad física del individuo.

Los obesos, como consecuencia de la ingestión exagerada de alimentos, en ocasiones desarrollan enormes cantidades de tejido adiposo, que requiere también nutrirse y demanda la ingestión de mayores cantidades de alimentos. Una vez que han ganado peso, en verdad su requerimiento calórico aumenta, pues deben mantener un volumen corporal mucho mayor.

Algunos individuos que padecen de obesidad aseguran que "casi no comen", o que "su metabolismo es diferente", pero es casi seguro que todos ellos bajarían de peso si disminuyeran la ingestión de alimentos. Ya se mencionó atrás la importancia que en muchos casos tiene la ingestión de refrescos o bebidas azucaradas de distintos tipos.

## OTROS ELEMENTOS DE LAS DIETAS

Aunque el contenido de calorías de la dieta es muy importante, hay otros aspectos en los cuales no ahondaremos en este libro: uno de ellos se refiere a la calidad de los componentes de que ya hemos hablado, y el otro a la presencia de elementos adicionales que son necesarios para la adecuada alimentación de los individuos.

La calidad o tipo de componentes de la dieta en los tres tipos de sustancias de que hemos hablado hasta ahora, se puede manifestar en el caso de las grasas y en el de las proteínas. Las grasas pueden contener distintos tipos de ácidos grasos en su estructura, y eso parece tener influencia, no en el valor calórico, sino en otros papeles que estas sustancias desempeñan en el bienestar de los animales. Se asegura, por ejemplo, que por diversas razones e importante que haya en las grasas un alto contenido de ácidos gra-

Los poliinsaturados, es decir, de aquellos que tienen en su molécula un elevado contenido de dobles ligaduras. En términos generales, la forma más simple de describir esta situación es señalando que los aceites contienen una mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados que las mantecas, y por ello se consideran más adecuados para la nutrición.

En el caso de las proteínas, la cuestión es más seria; en primer lugar, necesitamos ingerir diariamente una cantidad mínima de ellas, que se estima adecuada en un gramo diario por kilogramo de peso para los adultos, y de 1.5 gramos diarios por cada kilogramo de peso para los niños o convalecientes. Esta cantidad es necesaria para renovar cada día nuestras propias proteínas, pero satisfacer la cantidad no basta. Las proteínas están formadas por 20 diferentes aminoácidos, y de ellos hay 10 que nuestro organismo no puede sintetizar, o al menos no en cantidades suficientes para satisfacer las necesidades del organismo, y que se llaman por ello esenciales. Lo común, aunque no es el caso universal, es que las proteínas que contienen todos los aminoácidos esenciales sean las que provienen de los animales, en contra de lo que ocurre con la generalidad de las proteínas vegetales.

Sin embargo, aunque las proteínas de origen vegetal no suelen contener cantidades suficientes de aminoácidos esenciales, algunas de ellas sí cumplen esta condición. Pero además, aunque la mayoría son de las llamadas incompletas, por no contener uno o más de los aminoácidos esenciales, las de diferentes orígenes carecen de diferentes aminoácidos, y si se ingiere una variedad importante de ellas, es posible que se complementen unas a otras. En términos prácticos, es posible aseverar que un individuo debe alimentarse de preferencia a partir de proteínas animales, que son las que se encuentran en la carne, el pescado, huevo, leche, queso, etc. En caso de alimentarse de vegeta-

les, debe considerarse siempre la necesidad de ingerir la mayor variedad posible de ellos, y tomar en cuenta también que la proporción de proteína que contienen es muy pequeña.

El otro aspecto mencionado tiene que ver con toda una serie de sustancias que forman parte de la dieta, las vitaminas y los minerales, los cuales cumplen muy diversas funciones, y son indispensables para el funcionamiento de los distintos organismos vivos en diferente medida. Una de las características importantes en el caso de las vitaminas y de muchos de los minerales es que se deben ingerir en cantidades sumamente pequeñas, que no proporcionan energía a los organismos que las consumen. Este es un concepto que debe quedar claro, pues hay una creencia más o menos difundida en el sentido de que es, o sería posible en el futuro, substituir la alimentación con píldoras de vitaminas. Esperamos que, a partir de los conceptos vertidos en este libro, quede claro que la energía contenida en los alimentos en azúcares, grasas y proteínas, no puede ser aportada por las vitaminas.

Las vitaminas son sustancias que el organismo humano y muchos otros, no pueden producir, y que deben ingerir del exterior, generalmente con los alimentos. La función de las vitaminas es en su mayoría la de formar parte de ciertas moléculas indispensables para el metabolismo de las células. Otra de las características importantes de las vitaminas es que se deben consumir en cantidades sumamente pequeñas, lo cual contrasta con el abuso o exceso con que las consumen algunas personas, o hasta con el que las prescriben algunos médicos (Cuadro 4).

CUADRO 4. Cantidades diarias de algunas vitaminas

recomendables para un individuo adulto del sexo masculino

---

Vitamina C (ácido ascórbico)	45 miligramos
Ácido fólico	400 microgramos
Niacina	20 miligramos
Tiamina (vitamina B1)	1.2 miligramos
Piridoxina (vitamina B6)	2.0 miligramos
Cianocobalamina (vitamina B12)	3.0 microgramos

---

Los minerales que debemos ingerir son muy variados y en cantidades diferentes para los distintos tipos. Contrasta, por ejemplo, la cantidad diaria requerida de sodio, que debe satisfacer un mínimo de alrededor de entre 40 y 300 miligramos, con la de unos 10 de hierro, o de un poco más de 100 microgramos de yodo.

Hay, por otra parte, una gran cantidad de minerales que se deben tomar con los alimentos en cantidades extremadamente pequeñas, y que tienen diversas funciones en el organismo, algunos de los cuales, como el cobalto, se necesitan en cantidades verdaderamente ínfimas, pero son indispensables; así pues, el cobalto, que se ingiere con la vitamina B<sub>12</sub>, ¡no rebasa los 120 nanogramos diarios! Hay otros elementos que también se deben

ingerir en cantidades sumamente pequeñas, como el flúor y el selenio, entre otros.

Este complejo asunto de la nutrición es, por otra parte, una cuestión sencilla: si un individuo recibe una alimentación variada, ni escasa ni demasiado abundante, ese solo hecho le garantiza un componente importante d su salud. Por otro lado, es trágico que la distribución de los alimentos en el mundo sea tan diferente y haya regiones en las cuales ni

siquiera se pueda pensar en que los habitantes obtengan una cantidad adecuada de calorías; más difícil aún resulta la posibilidad de que obtengan la diversidad que una buena alimentación requiere.

## VI.

### OTROS REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA

---

YA VIMOS que la luz del Sol que llega a la superficie de la Tierra libera energía que es aprovechada por organismos equipados para retener la energía lumínica. En este sentido hay que mencionar que es probable que las algas unicelulares que aparecieron sobre la Tierra hace 2 500 millones de años sean las responsables de que hoy en día exista la vida tal como la conocemos; es decir, que la atmósfera terrestre tenga la composición que tiene, la cual permite que organismos incapaces de utilizar la energía luminosa vivan y se reproduzcan. Veamos con más detalle cómo es que unos organismos dependen de otros y de qué modo se transformó la atmósfera terrestre para que las distintas formas de vida que consumen oxígeno aparecieran.

A mediados del decenio de los 50, dos paleontólogos estudiaron al microscopio rocas cuya edad era de aproximadamente 2 mil millones de años; para su sorpresa, encontraron formas microscópicas abundantes que se parecían mucho a lo que hoy en día son las bacterias, solamente que éstas eran bacterias fósiles; en la actualidad se sabe que tienen una edad de hasta 3 500 millones de años. Estas primitivas formas de vida se encontraban en un ambiente tan hostil que es difícil entender cómo sobrevivieron en condiciones tan extremas. La atmósfera terrestre carecía entonces de la capa de ozono que hoy filtra de una manera muy conveniente los rayos o radiación ultravioleta que provienen del Sol, de tal forma que la atmósfera de la Tierra se debe haber parecido mucho a la atmósfera de Marte. La diferencia es que nuestro planeta se encuentra a una distancia del Sol menor que ese planeta, y la vida como hoy se conoce generó la capa de ozono que al presente nos protege de tan letal

radiación. En esas condiciones ambientales se producía toda una variedad de compuestos orgánicos que resultaban de la radiación solar y que servían de alimento a esos diminutos organismos. Éstos se alimentaban de aminoácidos, azúcares y ácidos orgánicos; sin embargo, incluso estos pequeños organismos requieren de energía para crecer y reproducirse y la requieren en forma de ATP, ya que deben haber necesitado producir sus proteínas y ácidos nucleicos (DNA y RNA) a partir de las sustancias que se encontraban en el medio que las rodeaba. En este sentido se han hecho experimentos que simulan las condiciones que prevalecían en ese entonces y que han llevado a producir ATP en mezclas de gases simples y fosfato. Esto sugiere que las primeras células pudieron haber obtenido su energía en forma de ATP simplemente tomándolo del medio y que de esta misma forma obtenían otra serie de compuestos que proporcionan energía y que están relacionados con esta molécula. Sin embargo, esta situación no pudo durar mucho tiempo, ya que la población de células que poblaban la Tierra aumentó hasta un punto en que estos compuestos se agotaron y esos organismos se vieron forzados a desarrollar un mecanismo para obtener su energía. Hoy en día se piensa que éste pudo haber sido la fermentación. Hay que recordar que este proceso se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y degrada moléculas grandes a pequeñas, conservando parte de la energía en forma de ATP.

A partir de la aparición de la vida sobre la Tierra, nuestro planeta jamás volvió a ser el mismo; los pequeños microorganismos que la poblaron interactuaron intensamente con su superficie y con la atmósfera, de tal forma que los ciclos básicos de algunas sustancias fueron modificados. Un ejemplo de esto es la diferencia que existe entre la Tierra y dos de sus vecinos, Venus y Marte, que contienen en su atmósfera una alta concentración de bióxido de carbono (97%), mientras que la Tierra solamente contiene 0.03%;

esta enorme reducción se debe en parte a que los microorganismos anaeróbicos, que abundaban hace más de 3 500 millones de años, lo removieron del aire.

Los organismos también requirieron de ciertos elementos básicos como el hidrógeno, el carbono, el nitrógeno, el fósforo, el oxígeno y el azufre, todos ellos elementos que se hallaban dispersos en la tierra, el agua y la atmósfera por las constantes erupciones de volcanes que en esa época ocurrían. Así se desarrollaron varias formas de obtención de energía y que incluyen la fermentación, la reducción de sulfato y la fotosíntesis anaeróbica. Sin embargo, al paso del tiempo se comenzaron a agotar los agentes reductores, entre éstos el hidrógeno, que constantemente se escapaba al espacio. Esta escasez hizo que evolucionara una nueva especie de fotosíntesis que permitía a ciertos microorganismos obtener el hidrógeno a partir de moléculas de agua. Tal estrategia hace uso del agua, que es una fuente inagotable de hidrógeno, y por otra parte se origina oxígeno como producto de desecho. Así es como gradualmente el oxígeno se acumuló en el agua, la tierra, los sedimentos y la atmósfera, lo cual marcó el principio de la era aeróbica.

El oxígeno libre favoreció la síntesis abiótica de compuestos orgánicos; además se comenzó a formar la capa de ozono que se ha convertido en tema de actualidad, puesto que forma un escudo protector contra la nociva radiación ultravioleta que produce serias alteraciones, entre otras cosas en los ácidos nucleicos y por tanto en la herencia y, recientemente, se han detectado agujeros en ella.

Así, los organismos anaeróbicos se vieron obligados a vivir permanentemente en sitios carentes de oxígeno en donde hasta la fecha se encuentran. Por otra parte, el oxígeno hizo posible un nuevo mecanismo para la obtención de energía que hoy conocemos como oxidativo o respiración, y que es, sin lugar a duda, mucho más eficiente, y permitió a las célu-

las crecer más grandes y elaboradas.

Los primeros organismos productores de oxígeno por fotosíntesis fueron las cianobacterias, que se conocen como algas verde-azules, las cuales dominaron la superficie del planeta hace unos 2 500 millones de años. La cantidad de oxígeno atmosférico aumentó de tal manera que todos los organismos que poblaban la Tierra se vieron amenazados, inclusive las cianobacterias. De esta forma se inició una etapa nueva en la que organismos que no toleran el oxígeno tuvieron que migrar, o murieron, mientras que otros se adaptaron, con lo cual queremos decir que desarrollaron sistemas que les permitieron convivir con el oxígeno, el cual es altamente tóxico cuando se encuentra como radical libre. Otros organismos desarrollaron mecanismos diferentes, que consistieron en el aprovechamiento de este gas para degradarlo hasta  $\text{CO}_2$  y agua, compuestos con que se alimentan y así entraron a escena lo que hoy conocemos como organismos respiratorios. Es posible que los primeros organismos respiratorios hayan sido también cianobacterias que llevaban a cabo este proceso de respiración durante la noche, pues utilizan la misma maquinaria molecular para la fotosíntesis y para la respiración. Se estableció así la base para que aparecieran otros organismos que eran incapaces de aprovechar la luz del Sol, pero que utilizaban por ejemplo el oxígeno que apareció en la atmósfera y que les permitió ser más eficientes para obtener la energía necesaria a partir de los nutrientes.

Con el tiempo evolucionaron, además de los organismos autótrofos o autosuficientes, los llamados heterótrofos, es decir, los que se alimentan de otros, y esto inició las cadenas alimenticias que actualmente conocemos (el pez grande se come al chico).

Las cadenas alimenticias son frágiles y dependen directamente de los organismos fotosintéticos que conservan la

energía radiante del Sol; es por ello que si se rompiera este equilibrio, todos aquellos organismos que somos incapaces de utilizar la luz del Sol irremediablemente desapareceríamos de la faz de la Tierra. Esta dependencia hace que el costo energético necesario para mantener un organismo heterótrofo sea mucho mayor que para un autótrofo. Por ejemplo, para que una vaca llegue a la edad necesaria para que produzca leche se requiere que haya consumido una cantidad muy considerable de pastura así como de cuidados que procuren su bienestar; todo esto hace que el precio intrínseco de la leche sea muy alto y más aún el de su carne. El que nos comamos un buen pedazo de filete en realidad significa que nos comemos el equivalente de muchos kilos de pasto y muchas horas de atención que el animal requirió. Al comer alimentos vegetales consumimos un valor intrínseco mucho menor, ya que si bien los vegetales también requieren de cuidados, éstos son sin duda mucho menos costosos que los que requiere una res, o un borrego, o cualquier otro animal para consumo. Esto no quiere decir que no debamos consumir carne, pero es necesario notar que una sociedad que basa su dieta en la carne gasta una cantidad enorme de energía que tuvo que ser captada por el pasto y metabolizada por la vaca, la cual finalmente la transformó en músculo. Quizá una dieta más dirigida al consumo de vegetales y productos derivados de la vaca aminore el problema energético que se plantea. Otra alternativa la da el mar, donde los peces se alimentan de plancton y de otros peces. El costo energético de la carne de pescado, o bien de los diferentes mariscos que del mar se obtienen es mucho más bajo en términos de energía y quizá hasta en términos económicos.

## OTRAS NECESIDADES ENERGÉTICAS DE LOS HUMANOS

Tomemos como ejemplo a un hombre común de un país desarrollado y analicemos la cantidad de energía que consume. Al despertar lo hará utilizando probablemente un despertador eléctrico; al darse un baño lo hará con agua caliente que proviene de un calentador ya sea eléctrico o de gas; para preparación de su desayuno consumirá otro tanto de energía; finalmente, para llegar a su trabajo, lo hará muy probablemente en su auto o utilizando algún medio de transporte. Se ha descrito un caso semejante, el de un trabajador alemán que en total en el proceso gasta 225 000 kilojoules de energía; pero el caso que se ha analizado es el del operario de una gigantesca máquina para extraer carbón mineral, y produce alrededor de 20 000 toneladas de carbón por día, las cuales a su vez van a producir unos 165 billones de joules/hora, de esta forma este individuo produce una cantidad de energía casi 500 000 veces mayor que su gasto total diariamente.

Podemos comparar a este personaje con un agricultor de un país subdesarrollado que vive junto a su tierra de cultivo, que no requiere de un automóvil para transportarse, ni calienta el agua o la comida con gas, sino con estiércol. Remueve la tierra con un arado tirado por un buey y cosecha su siembra con ayuda de su familia; claro que la producción es pequeña y da apenas para su propio sustento. En términos de energía, produce 42 veces el valor de su propia fuerza muscular; consume poca energía pero produce muy poca en comparación con el ejemplo del país desarrollado.

La pregunta que nos hacemos es la siguiente, ¿cuál de los dos casos es más eficiente y por tanto aprovecha mejor la energía consumida con respecto a la energía producida? Ciertamente, el operario de la máquina que extrae carbón es mucho más eficiente. Esto se debe a que la tecnología aplicada para este caso específico permite incrementar la

relación de energía invertida por energía producida; sin embargo, el caso del campesino, aparentemente menos costoso desde el punto de vista energético, produce una cantidad muy pequeña de energía.

Por otra parte, si el campesino de nuestro ejemplo se auxiliara de equipo mecánico que le permitiera incrementar su eficiencia, muy probablemente su relación de energía producida por energía consumida se incrementaría notablemente, así como sus condiciones de vida. El ideal se antoja más cerca del personaje del país industrializado, que del campesino del país subdesarrollado. Es entonces indispensable que en la planeación de los países se tomen en cuenta estos factores, que indudablemente representan un gasto de cantidades enormes de energías que han de dedicarse al bienestar de los humanos y hasta de los animales.

## CONTRAPORTADA

---

La vida, como el fenómeno esencialmente inestable que es, requiere para mantenerse de una variadísima serie de transformaciones de la energía, originalmente proveniente del Sol. Ésta es captada principalmente por las plantas, pero también por una cantidad enorme de microorganismos que habitan en el mar y que son fuente de alimentación para los peces, como las plantas para los animales. Nuestra comida nos ofrece las diversas sustancias que necesitamos, pero también la energía que requerimos para funcionar.

Este libro ofrece un panorama de la energía, que se inicia con el estudio de los conceptos básicos que la definen, y que no son lo suficientemente claros para la mayoría de las personas. Explica las formas desarrolladas por las plantas y otros organismos para captar la energía solar atrapándola en forma de enlaces químicos de sustancias diferentes; los azúcares en primer lugar. Describe también los mecanismos mediante los cuales los animales pueden transformar la energía, en sus muy variadas formas, en la renovación continua de sus materiales o en la ejecución de sus funciones. Otra parte se encarga de explicar cuáles son las formas principales de "utilización" de la energía; qué procesos, visibles o no, implican transformaciones o "gasto" de energía. La acumulación de sustancias en nuestras células constituye, de hecho, una transformación de energía química en energía osmótica, e inclusive eléctrica si esas sustancias tienen carga.

Finalmente, este texto analiza en términos sencillos la relación entre nutrición y energía, qué son las calorías, cómo se pueden cuantificar, cuáles son los elementos más simples de una alimentación "balanceada". Señala un aspecto poco

considerado al hablar de la energía: las enormes cantidades de ella que se obtienen al quemar ciertos combustibles y que se transforman en procesos diferentes de ella útiles al hombre: automóviles, radios, televisores, calefacción, medios para cocinar, etcétera. □

