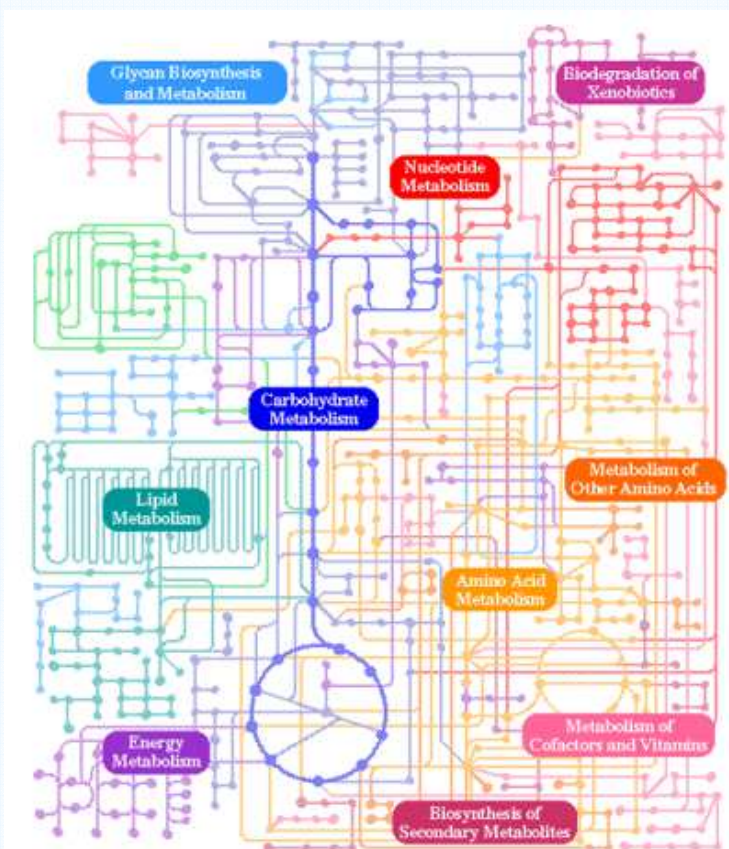


16

Introducción al metabolismo



1. LOS PROCESOS METABOLICOS ESTÁN COORDINADOS

Hay procesos anabólicos y catabólicos

2. LA CÉLULA INTERCAMBIA MATERIA Y ENERGÍA

Los autótrofos son autosuficientes
La mayoría de heterótrofos son quimiótrofos

3. HAY DIVERSAS RUTAS METABÓLICAS

Algunos tipos de reacciones son más frecuentes

4. LAS REACCIONES REDOX PRODUCEN ENERGÍA

DÓNDE BUSCAR INFORMACIÓN

 **Bibliografía y páginas web**

 **Noticias curiosas**

OBJETIVOS

1. Definir el concepto de metabolismo.
2. Describir las características del metabolismo.
3. Diferenciar los conceptos de catabolismo y anabolismo.
4. Explicar el concepto de nutrición celular y sus variantes en relación a la fuente de materia y de energía (autótrofa y heterótrofa).
5. Conocer las reacciones de oxidación-reducción, diferenciando claramente la acción del agente oxidante y del reductor.
6. Describir el papel del ATP y los transportadores de electrones en el metabolismo.

CONCEPTOS CLAVE*agente oxidante, 6**agente reductor, 7**ATP, 6**autótrofa, 8**fosforilación, 12**fotoautótrofo, 8**fotofosforilación, 12**fotosíntesis, 8**heterótrofa, 8**metabolito, 4**oxidación-reducción, 6**oxido-reducción, 6**quimioautótrofo, 9**quimioheterótrofo, 9**quimiosíntesis, 8**reacción endergónica, 11**reacción anabólica, 5**reacción catabólica, 5**reacción exergónica, 11**redox, 6**ruta metabólica, 4*

16.1 LOS PROCESOS METABOLICOS ESTÁN COORDINADOS

La palabra **metabolismo** es un neologismo inventado por Schwann, uno de los “padres” de la teoría celular, (ver Tema 8) a partir de la palabra griega *metabol* (cambio) y el sufijo *-ismo* (cualidad o propiedad). Así el metabolismo es la capacidad que tienen los seres vivos de transformar o cambiar (*metabole*) la naturaleza química de las sustancias que hay en las células.

Recordar que la célula (Tema 8) es un sistema abierto que intercambia materia y energía con el entorno, y por tanto en cada momento suceden miles de reacciones químicas, de manera rápida y coordinada, de acuerdo a sus necesidades. El metabolismo es parte determinante de la vida celular pues todas esas reacciones químicas son señal de actividad, de transformaciones que tienen distintos fines, como producir energía, promover el crecimiento de la célula, renovar las estructuras, regenerar moléculas, mantener las concentraciones de iones o realizar distintas funciones, por ej., la contracción muscular.

Atendiendo a la variación de energía libre que experimentan, las reacciones químicas que componen el metabolismo se pueden clasificar en exergónicas y endergónicas. Si recordamos el Tema 6, todas las reacciones celulares necesitan una cierta **energía de activación** para comenzar, pero al finalizar puede haber una ganancia o pérdida neta de energía. Se dice que una reacción es **exergónica** si se desprende energía, es decir, la variación de energía libre de Gibbs es negativa, $\Delta G^\circ < 0$. En ella, la formación de los productos libera una cantidad de energía mayor que la absorbida para romper los enlaces de los reactivos, de modo que el exceso queda libre conforme se lleva a cabo la reacción en forma de calor, luz, etc. Las reacciones exergónicas son procesos **espontáneos**, aunque eso no significa que sean más rápidas, sino que transcurren por sí solas. Todo lo contrario ocurre en las reacciones **endergónicas**, donde la variación de energía libre de Gibbs es positiva, $\Delta G^\circ > 0$. En este caso se trata de una reacción desfavorable o no espontánea, y para que transcurra necesitará un aporte extra de energía.

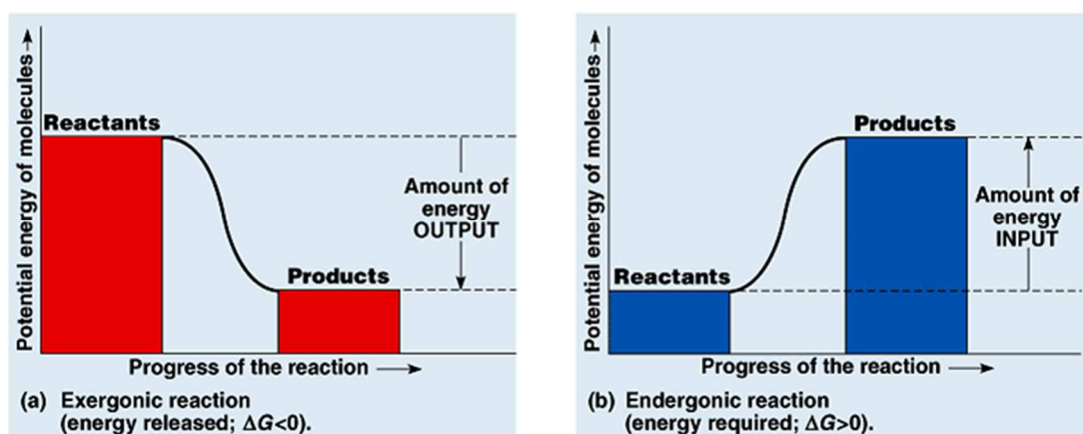


Figura 16.1. Reacciones exergónicas y endergónicas. Fuente: [from Pearson Educ.](https://www.pearsoned.com)

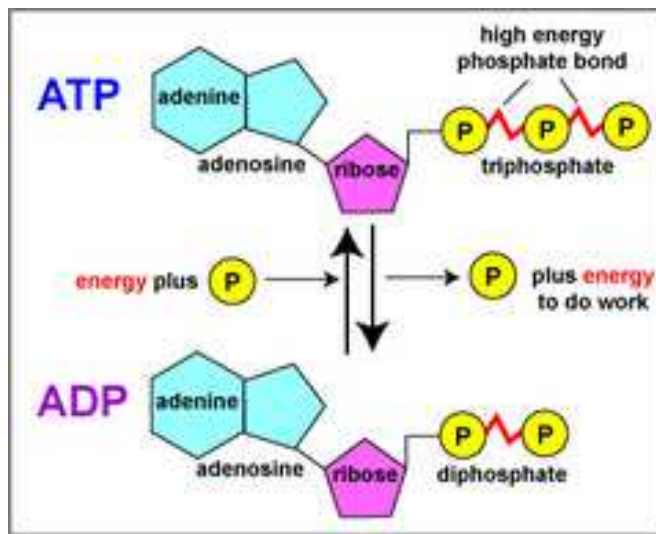


Figura 16.2.
Interdependencia del
ATP-ADP con el
metabolismo

Por lo tanto, las reacciones endergónicas suelen ir acopladas con las exergónicas, la energía que se libera en unas se puede aprovechar en las otras.

En el [Tema 7](#) vimos que el ATP es la molécula que funciona como **moneda de cambio energético**. La energía que se genera en las reacciones metabólicas se almacena en los enlaces entre los grupos fosfato de la molécula de ATP, que son enlaces de alta energía. Cada enlace éster-fosfórico del ATP supone unos 7,3 kcal/mol. Al romperse este enlace se libera dicha energía y el ATP se transforma en ADP.



El ATP impulsa tres tipos de trabajo en la célula, trabajo químico, de transporte y mecánico. El trabajo químico se refiere a suministrar energía de activación en las reacciones e impulsar reacciones endergónicas. El trabajo de transporte mueve moléculas a través de las membranas (recordar transporte activo, [Tema 9](#)), el trabajo mecánico implica el movimiento de la célula o de partes de la misma (ej., célula muscular)

Hay procesos anabólicos y catabólicos

En su conjunto, las reacciones metabólicas se pueden dividir en dos tipos principales: el **catabolismo** para producir energía y el **anabolismo** para formar materia propia.

El **catabolismo** comprende reacciones que sirven para descomponer o **degradar** sustancias, y como al hacerlo se rompen enlaces, se libera energía; por eso las reacciones catabólicas implican una ganancia de **ATP** y suelen ser exergónicas. En definitiva, se transforman sustancias más complejas en otras más sencillas.

El **anabolismo** es un conjunto de reacciones que sirven para **sintetizar** sustancias, y como al hacerlo se forman enlaces, se necesita energía, por tanto todas las reacciones anabólicas implican un gasto de ATP y suelen ser endergónicas. En definitiva, se transforman sustancias sencillas en otras más complejas.

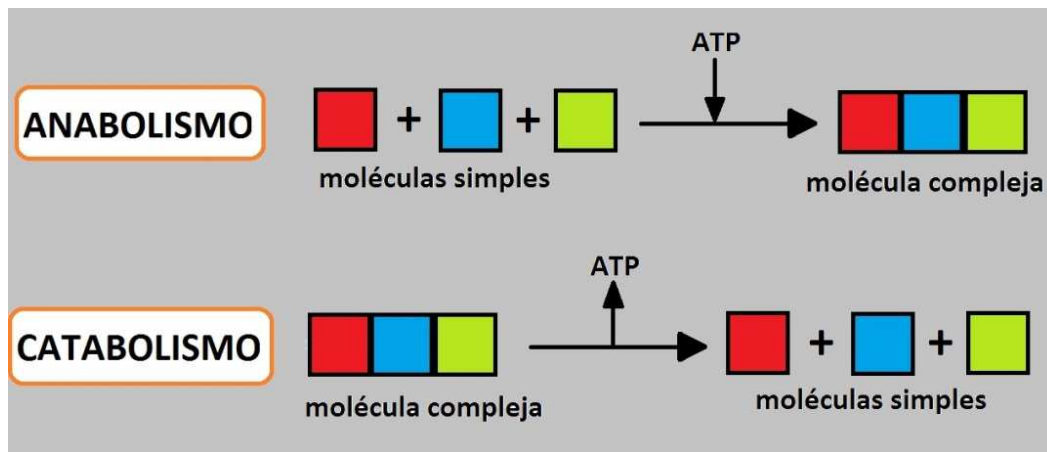


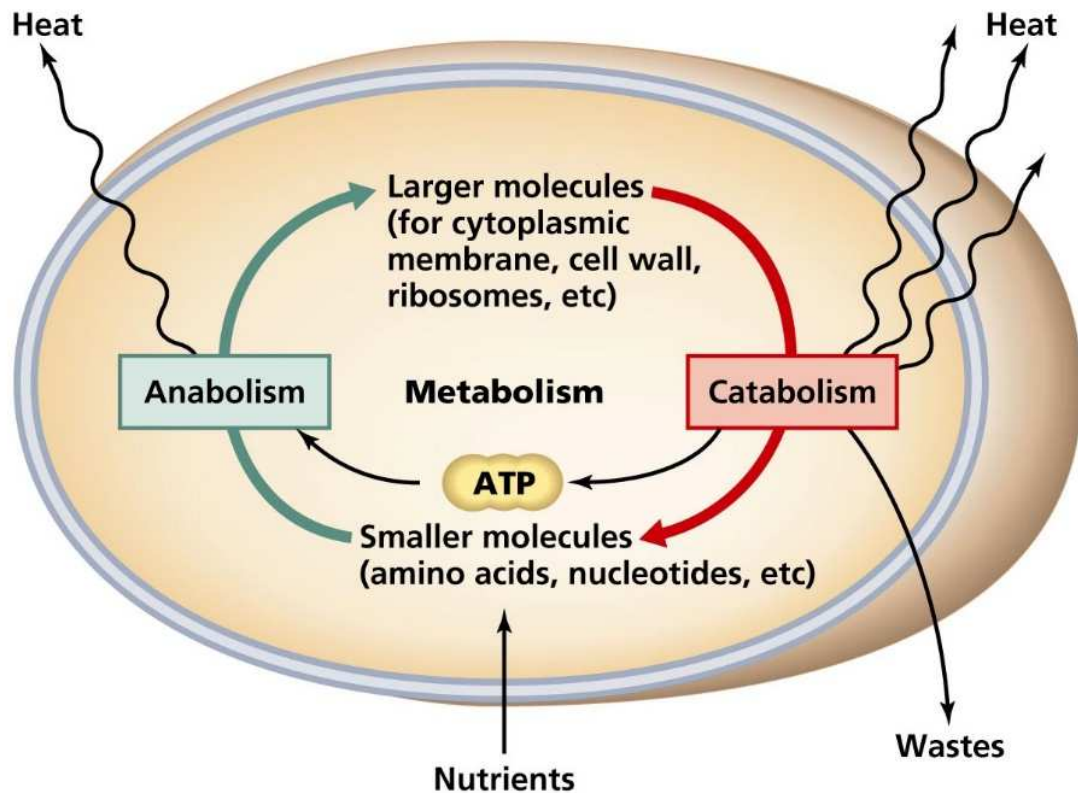
Figura 16.3. Catabolismo y anabolismo acoplados con cambios de ATP.

En general las reacciones catabólicas son **convergentes**, porque a partir de diferentes compuestos iniciales se forman siempre los mismos productos finales, que son moléculas sencillas, como CO₂, H₂O, NH₃, desprovistas de energía.

Por su parte, las reacciones anabólicas siguen caminos **divergentes**, porque se forman una gran variedad de productos finales a partir de pocos precursores iniciales.

Tabla 16.1. Tipos de metabolismo

CATABOLISMO	ANABOLISMO
Es un metabolismo destructivo (o degradativo), de moléculas más grandes se obtienen otras más pequeñas.	Es un metabolismo constructivo, de moléculas más pequeñas se obtienen moléculas mayores
Proceso oxidativo, produce energía (ATP).	Proceso de reducción, se necesita energía (ATP).
Rutas metabólicas convergentes, partiendo de sustancias muy diferentes acaban produciendo las mismas sustancias. Ej.: CO ₂ y H ₂ O.	Rutas metabólicas divergentes, partiendo de las mismas sustancias acaban produciendo sustancias muy diferentes.
La típica ruta catabólica es la respiración: materia orgánica + O ₂ → CO ₂ + H ₂ O + energía (ATP)	La típica ruta anabólica es la fotosíntesis: CO ₂ + H ₂ O + energía luminosa → materia orgánica + O ₂



Copyright © 2006 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Figura 16.4. Interdependencia entre el catabolismo y el anabolismo. Fuente: <http://academic.pgcc.edu/~kroberts/Lecture/Chapter%205/metabolism.html>

El anabolismo y el catabolismo están **acoplados** y las reacciones son interdependientes, ya que si se producen degradaciones de unas moléculas, se compensa con la síntesis de otras y si unos procesos necesitan energía (anabolismo), otros deben proporcionar esa energía (catabolismo).

16.2 LA CÉLULA INTERCAMBIA MATERIA Y ENERGÍA

Todos los seres vivos necesitan materia y energía para vivir. La función de nutrición celular tiene como objeto incorporar materia para crecer o renovarse y energía a la célula necesaria para realizar cualquier actividad.

La materia y energía los seres vivos las pueden incorporar por separado como en la fotosíntesis donde el CO_2 , sales minerales y el H_2O aportan la materia y la luz solar aporta la energía; o la pueden incorporar al mismo tiempo, como al incorporar glucosa que es un nutriente que tiene materia (átomos de C, H y O) y energía almacenada en sus enlaces químicos, que será liberada al oxidarla (quitarle los H).

Los autótrofos son autosuficientes

En relación a la fuente de materia hay organismos **autótrofos** y **heterótrofos**.

Los organismos **autótrofos** utilizan como fuente de carbono una sustancia inorgánica **sencilla**, el CO₂. A partir del CO₂, y con ayuda de otras sustancias inorgánicas, como H₂O y sales minerales formarán moléculas orgánicas complejas; este proceso anabólico requiere un aporte de energía. La palabra **autótrofa** significa etimológicamente *que se alimenta por sí misma* y también se usa el término **litótrofa** (que se alimenta de piedra) si nos tomamos la licencia poética de llamar piedra, en el sentido de sustancia inanimada, a la materia inorgánica que estos seres vivos toman de su entorno. Los autótrofos son relativamente **autosuficientes** ya que no dependen de otros organismos para alimentarse. Según la fuente de esta energía se distinguen dos tipos de seres vivos autótrofos: fotosintéticos o fotolitotrofos y quimiosintéticos o quimiolitotrofos.

- Los autótrofos **fotosintéticos** consiguen energía directamente de la luz y la usan para incorporar pequeñas moléculas inorgánicas (CO₂) dentro de sus células. Organismos fotoautótrofos son las plantas, las algas (protista) y cianobacterias.
- En los autotrofos **quimiosintéticos** el proceso es similar pero el aporte de energía procede de la oxidación de moléculas inorgánicas, es por tanto energía química. Organismos quimioautótrofos son únicamente algunos tipos de bacterias, por ej., las bacterias del ciclo del N que oxidan NH₃ o NO₂ como *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* (ver Tema 20).

La mayoría de heterótrofos son quimiótrofos

Los organismos **heterotótrofos** carecen de la capacidad de los autótrofos para utilizar el CO₂, de modo que la fuente de carbono consiste en moléculas orgánicas más o menos **complejas**. El término *heterótrofo* significa literalmente *que se alimenta de otros*, en el sentido de que esa materia orgánica ha sido sintetizada previamente por los organismos o restos de organismos de los que los heterótrofos se alimentan. En algún momento anterior cualquier átomo de C de nuestro cuerpo ha sido parte de un organismo fotosintético y ha sido procesado a partir de CO₂ y H₂O.

		Obtención de energía	
		Fotótrofos	Quimiótrofos
Obtención de carbono	Autótrofos	Plantas, bacterias fotosintéticas, algunos protistas	Bacterias quimiolitotrofas
	Heterótrofos	Algunas Bacterias	Animales, hongos, muchas bacterias y protistas

Figura 16.5. Tipos de obtención de materia y energía

La **ventaja** de los heterótrofos es que parte de estas moléculas que ingieren las pueden utilizar para construir su propia materia orgánica. Al menos algunos aminoácidos, ácidos grasos y monosacáridos de los alimentos servirán para construir sus propios polímeros y el resto servirá como combustible en la respiración celular.

La mayoría de los heterótrofos son **quimioheterótrofos** o quimiótrofos: animales, hongos, protozoos y muchas bacterias. Hay un reducido grupo seres vivos **fotoheterótrofos**, que son las bacterias purpúreas no dependientes del azufre, que viven en ambientes acuáticos anaerobios ricos en materia orgánica y usan compuestos orgánicos, del tipo del acetato o el ácido butírico, como fuentes de carbono y la luz como fuente de energía.

Es importante recordar que **no todas las células** de un organismo pluricelular determinado son necesariamente de la misma clase. En las plantas superiores las células con clorofila que se encuentran en las hojas y a veces tallos son fotosintéticas, pero las células de la raíz no tienen cloroplastos y dependen para alimentarse de los productos que sintetizan las hojas y que les llegan a través de la savia elaborada. Otros ejemplos interesantes son *Euglena*, un género de protistas unicelulares, o diversos grupos de bacterias, que se comportan como autótrofos fotosintéticos o quimioheterótrofos dependiendo de las circunstancias.

También conviene tener claro que aunque la **fotosíntesis** (o quimiosíntesis) produce materia orgánica, todos los seres vivos, sean fotosintéticos o no, deben extraer energía de la materia orgánica una vez formada para sus reacciones vitales, en un proceso independiente, conocido como **respiración** y/o **fermentación**.

16.3 HAY DIVERSAS RUTAS METABÓLICAS

Todas las reacciones metabólicas necesitan enzimas para llevarse a cabo. Como se vio en el [Tema 6](#) para cada reacción existe una **enzima** diferente que permite su realización. Estas secuencias ordenadas de reacciones son las **rutas metabólicas**.

Las moléculas que participan en dichas rutas reciben el nombre de **metabolitos**. En estas rutas el producto final de una reacción constituye la molécula de partida de la siguiente. Las rutas metabólicas son variadas, ramificándose y conectándose una con otras.

Existen rutas metabólicas convergentes y divergentes. En las primeras se obtiene el mismo producto final a partir de distintas moléculas de partida. En las segundas, una única molécula origina diferentes productos. Una misma molécula puede formar parte de una ruta convergente y de otra divergente, originándose itinerarios metabólicos muy diversos.

Pese a la enorme variedad de seres vivos existentes, las rutas metabólicas más importantes, como las empleadas en la obtención de energía o para la síntesis de los grandes grupos de

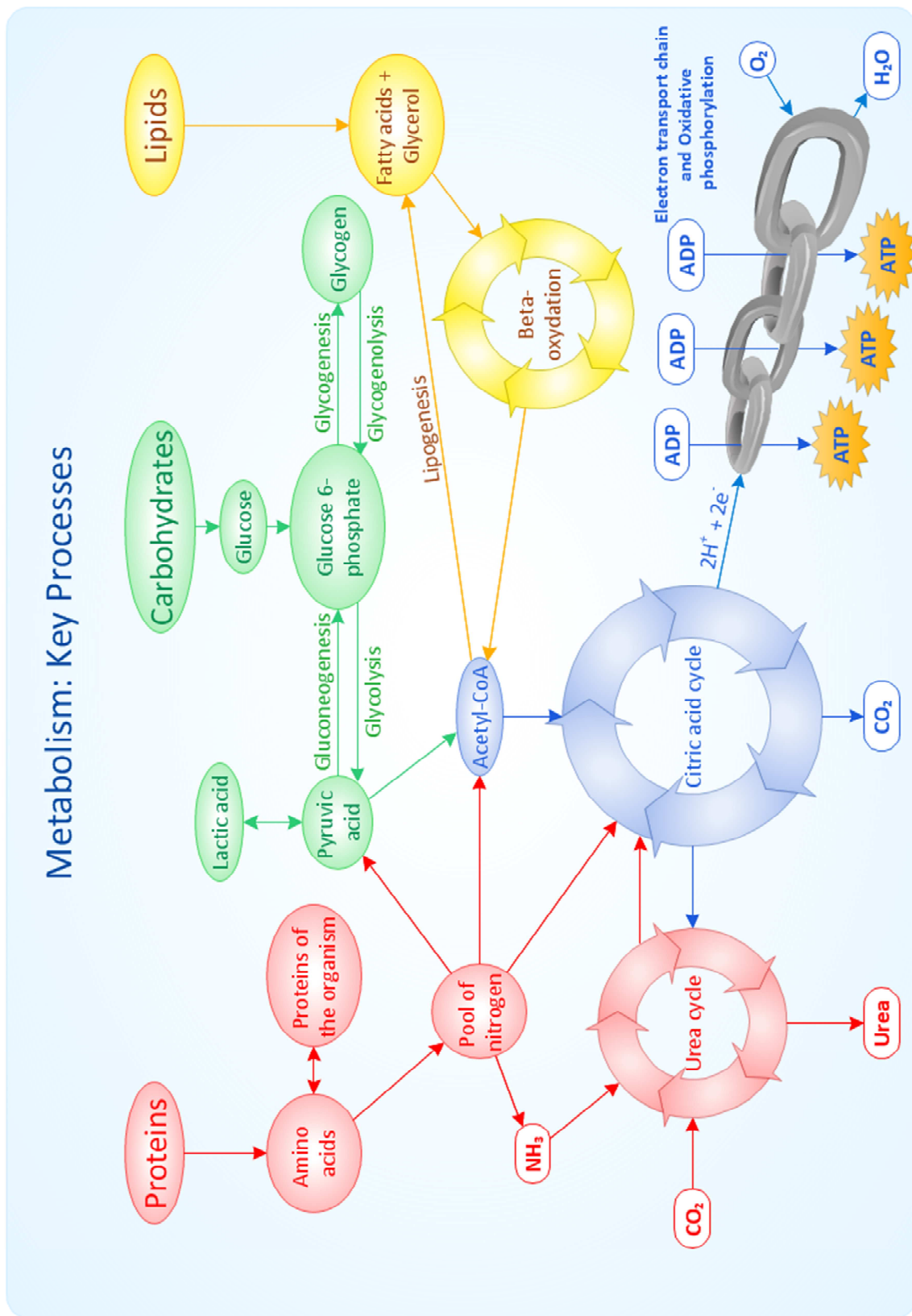


Figura 16.6. Principales rutas metabólicas catabólicas

moléculas, son **comunes** en la mayoría de los organismos. Esto constituye un apoyo a la hipótesis del **origen único** de los seres vivos.

Las reacciones metabólicas están **compartimentadas**, pues las distintas vías metabólicas tienen lugar en diferentes zonas de la célula. La razón es hay muchas reacciones (muchas vías o rutas), que tienen lugar de forma simultánea, y para evitar interferencias entre ellas, por ejemplo que interfieran enzimas que colaboran en reacciones opuestas. Cada una ocurre en un **orgánulo** diferente, es decir, tienen lugar en compartimentos diferentes.

Algunos tipos de reacciones son más frecuentes

Si recordamos el Tema 6 de enzimas,

- **Isomería**, que producen reordenaciones dentro de la molécula o transferencias de radicales de una parte a otra de la molécula.
- **Descarboxilación**, con la transferencia de CO₂
- **Hidrólisis**, supone la ruptura de enlaces con ayuda del agua, por ejemplo enlaces éster, glucosídicos, peptídicos (peptidasa) y otros.
- **Deshidratación**, pérdida de una molécula de H₂O sin ruptura de enlaces en la molécula dadora.
- **Fosforilación** es una reacción en la que interviene ATP.

Con el objetivo de activar un compuesto para que sea más reactivo, se le suele transferir un grupo fosfato procedente de la hidrólisis del ATP.

Por otro lado, hay dos mecanismos para acoplar el desprendimiento de energía durante el catabolismo con la síntesis de ATP:

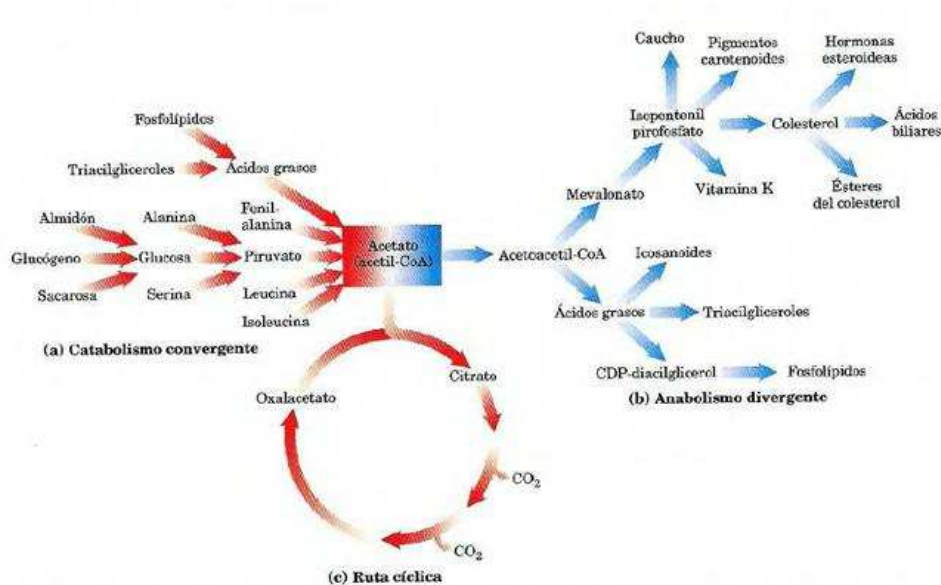


Figura 16.7.
Rutas metabólicas convergentes, divergentes y cíclicas

a) **Fosforilación a nivel de sustrato**. Dado un compuesto (intermediario) con un enlace rico en energía, se utiliza la energía desprendida en la hidrólisis de este compuesto para llevar a cabo la síntesis de ATP. En el estudio de las distintas rutas catabólicas tendremos ocasión de ver varios ejemplos de este proceso.



b) **Fosforilación acoplada al transporte electrónico**. El transporte de electrones se realiza a través de una serie de sustancias, llamada cadena de transportadores situadas en la membrana de las mitocondrias y cloroplastos. Este proceso genera energía, que sirve para fosforilar el ADP a ATP. El proceso que tiene lugar en la **mitocondria** se denomina fosforilación oxidativa, en concreto ocurre en la membrana mitocondrial interna, y el que tiene lugar en la membrana de los tilacoides del **cloroplasto** se llama fotofosforilación.



16.4 LAS REACCIONES REDOX PRODUCEN ENERGÍA

Como se comentó antes los organismos quimioorganótrofos utilizan la materia orgánica no sólo como fuente de materia para la construcción de sus propias biomoléculas, sino también como fuente indirecta de energía.

Una reacción de **oxidación-reducción** o **redox** consiste en un intercambio de electrones. La oxidación implica pérdida de uno o más electrones y la reducción significa la ganancia de uno o más electrones (se llama reducción porque se reduce la carga positiva). En una reacción de oxidación-reducción debe haber dos sustancias acopladas, una que ceda electrones, y otro que los acepte (pares red-ox):

-El agente **oxidante** es aquel compuesto químico que capta los electrones, quedando reducido.

-El agente **reductor** es aquel compuesto químico que suministra los electrones, quedando oxidado.

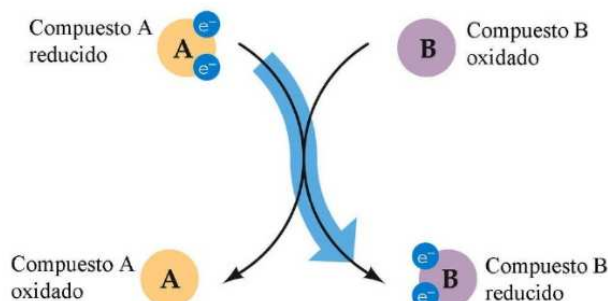
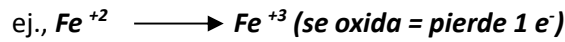


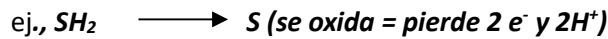
Figura 16.8. Procesos redox y coenzimas implicadas. Fuente: <http://es.slideshare.net/josemanuel7160/tema-9-introduccion-al-metabolismo-6899856>

Hay que tener en cuenta que una molécula se puede oxidar o reducir de diversas formas:

- Por pérdida o ganancia de electrones,



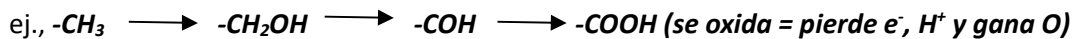
- Por pérdida o ganancia de electrones con **deshidrogenación**,



pues al intercambiar átomos de hidrógeno, involucra una transferencia de electrones:



- Por pérdida o ganancia de electrones con **deshidrogenación** y ganancia de **oxígeno**,



Las reacciones redox liberan energía cuando los electrones se acercan a determinados núcleos de los átomos. Un enlace C-C de un monosacárido es simétrico, los electrones se sitúan de forma equidistante a cada átomo y la situación es estable; en un enlace C=O no es así, el O es más electronegativo y los electrones tienden a estar más cerca del oxígeno. Si ocurre una reacción redox, y los electrones pasan de un enlace simétrico a uno asimétrico y se mueven hacia núcleos de átomos más electronegativos liberan energía. Una analogía es un satélite en órbita que luego cae hacia la Tierra, se produce una liberación de energía cinética en forma de luz y calor. De igual forma los electrones que son atraídos hacia los núcleos por los átomos electronegativos desprenden energía en las reacciones redox.

En resumen, la materia orgánica al degradarse se oxida, lo que contribuye a liberar energía, pero no se hace de golpe, pues se perdería en su mayor parte como calor; sino lentamente de forma que se acumule en forma de ATP.

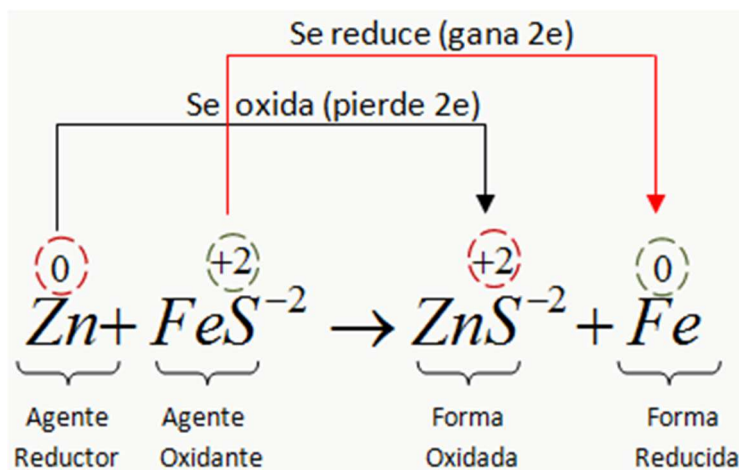


Figura 16.9. Agentes reductores y oxidantes formando pares redox.

Fuente:

<http://4.bp.blogspot.com/-ttEYwhIV9os/T8WKbdGvsal/A A A A A AAZk/U1e6PV4t7QM/s400/re dox6.gif>

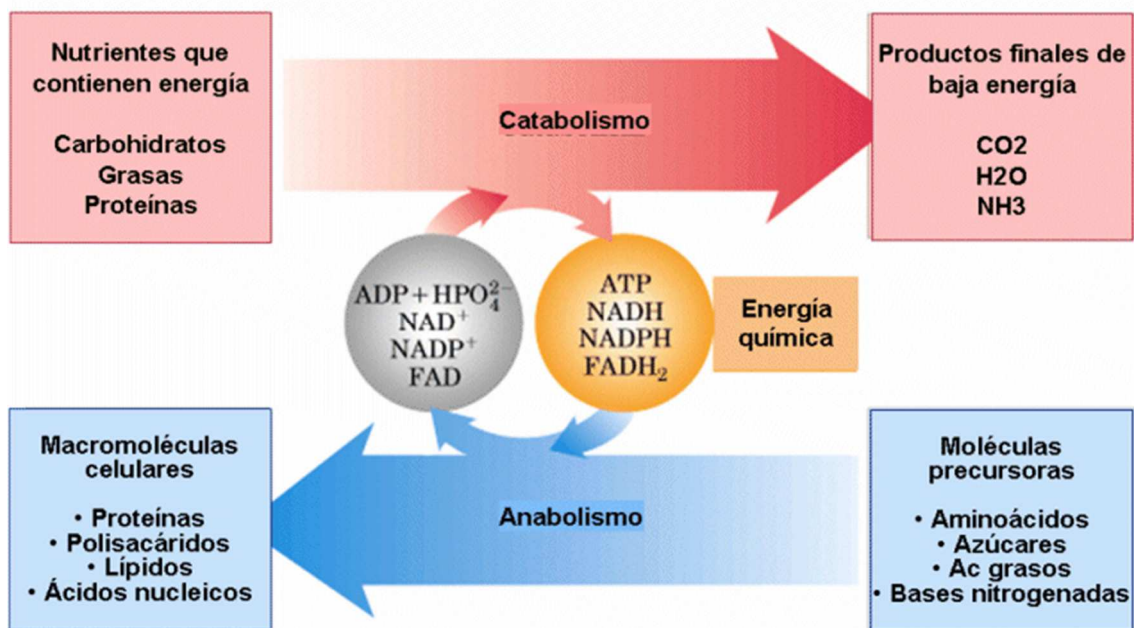


Figura 16.10. Papel de los coenzimas en el metabolismo

Las reacciones de **oxidación** de glúcidos y lípidos son reacciones de catabolismo, degradándose las moléculas al perder H y/o electrones; en contraste las reacciones de fotosíntesis de los vegetales son reacciones anabólicas porque se producen **reducciones** con la ganancia de H y/o electrones.

En el próximo tema se estudian las reacciones redox que ocurren en la célula donde intervienen **glúcidos** y **lípidos**, que se van oxidando progresivamente y actúan como **dadores** de **e⁻** y **H⁺**. A su vez los **coenzimas** NAD⁺ y FAD actúan como receptores de estos **e⁻** y **H⁺**, reduciéndose y transformándose en NADH + H⁺ y FADH₂. Estos coenzimas van a transportar los **e⁻** y **H⁺** hacia las membranas (cresta y mitocondrial interna) que es el lugar donde se genera el ATP.

CUESTIONES Y EJERCICIOS

1. Si en una célula se impide la síntesis de ATP, ¿podría quedar afectada alguna de las funciones de la membrana plasmática? ¿Por qué?

2. Completa el cuadro:

<i>Energía:</i>	<i>Materia:</i>	<i>Reacciones:</i>
<i>Consume/Desprende</i>	<i>Degrada/Sintetiza</i>	<i>Oxidación/Reducción</i>

CATABOLISMO

ANABOLISMO

3. ¿Qué diferencias y semejanzas existen, respecto a los procesos metabólicos que realizan, entre las células autótrofas y heterótrofas? ¿Y entre las fotosintéticas y quimiosintéticas?

4. ¿Qué quiere decir que el acetil-CoA es una encrucijada metabólica?

5. Considerando que la energía es el dinero con que se pagan los trabajos celulares, establece la relación entre las siguientes moléculas energéticas y sus equivalentes en términos monetarios, razonando la respuesta:

Almidón, glucógeno y grasas	Dinero de bolsillo
ATP	Libreta a plazo fijo
Glucosa	Cuenta corriente