

2.-FISIOLOGÍA CELULAR

METABOLISMO CELULAR

Metabolismo. Conjunto de reacciones químicas que se dan en un organismo vivo. Se pueden clasificar en dos grandes grupos. Catabolismo: Reacciones degradativas en las que se obtienen moléculas sencillas a partir de moléculas complejas, y cuya finalidad es la obtención de energía. Anabolismo: reacciones constructivas en las que se obtienen moléculas complejas a partir de otras más sencillas.

Cuando una ruta metabólica participa tanto en el catabolismo como en el anabolismo se denomina anfibólica. Ej.: ciclo de Krebs.

Clasificación de los organismos en relación con los tipos de metabolismo.

Tipo de metabolismo	Fuente de materia	fuentes de energía	Organismos que lo realizan
Fotoautótrofo o fotosintético	Materia inorgánica	luz	Plantas, algas y bacterias
Quimioautótrofo o quimiosintético	Materia inorgánica	Reacciones químicas exotérmicas	Bacterias
Quimioheterótrofo	Materia orgánica	Reacciones químicas exotérmicas	Animales, protozoos, hongos, bacterias

Reacciones de óxido-reducción en el metabolismo celular. Muchas reacciones metabólicas son de tipo oxidación-reducción. Una oxidación se caracteriza por una pérdida de electrones acompañada en muchas ocasiones de una pérdida de átomos de hidrógeno. El compuesto que se oxida cede los átomos de hidrógeno a unas moléculas denominadas *transportadores de hidrógeno* (nucleótidos como el NAD⁺, NADP⁺ o el FAD). Posteriormente estos lo cederán al compuesto que se reduce.

Las moléculas según van sufriendo oxidaciones consecutivas, van disminuyendo su contenido energético. Esta energía que se va perdiendo es utilizada por la célula en la formación de enlaces fosfato de alta energía presentes en la molécula de ATP.

Función de los coenzimas NAD⁺, NADP⁺, FMN y FAD en el metabolismo. Los coenzimas de enzimas deshidrogenasas anteriores pueden presentarse en forma oxidada o reducida según el siguiente cuadro:

Forma oxidada	Ruta en la que se obtiene	Forma reducida	Ruta en la que se obtiene
NAD ⁺	Cadena de transporte de electrones	NADH + H ⁺	Glucólisis, descarboxilación oxidativa, Ciclo de Krebs, <i>beta</i> -oxidación, desaminación oxidativa de los aminoácidos.
NADP ⁺	Ciclo de Calvin	NADPH + H ⁺	Fase luminosa de la fotosíntesis
FMN		FMNH ₂	
FAD	Cadena de transporte de electrones	FADH ₂	Ciclo de Krebs, <i>beta</i> -oxidación

Función del ATP en el metabolismo celular. La molécula de Adenosín trifosfato (ATP) está formada por tres fosfatos unidos entre sí por enlaces de alta energía, una ribosa y la base nitrogenada adenina, según la representación esquemática de la figura 6.6 de la página 82 de libro de texto.

Cuando la célula necesita energía se rompen los enlaces de alta energía de la siguiente forma:



Para acumular energía en la célula, las reacciones anteriores se realizan de forma inversa.

Hay dos mecanismos de obtención de ATP:

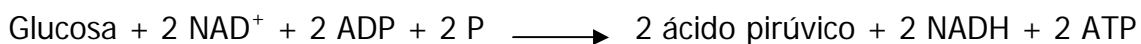
- Fosforilación a nivel de sustrato (Ej.: glucólisis, ciclo de Krebs): se aprovecha directamente la energía desprendida al romperse una molécula.
- Fosforilación oxidativa (Ej.: cadena de transporte de electrones de la respiración aerobia, fotosíntesis. En el caso de la fotosíntesis se denomina fotofosforilación): se realiza a través de enzimas ATP-sintetasas y está asociada a gradientes quimiosmóticos. En las células eucariotas tiene lugar en las mitocondrias y en los cloroplastos en el caso de la fotofosforilación.

CATABOLISMO

Catabolismo de los glúcidos. Se puede realizar de dos formas distintas:

- Fermentación: Oxidación incompleta de los compuestos orgánicos en la que el aceptor final de los electrones es otro compuesto orgánico. El ATP se forma por fosforilación a nivel de sustrato, no se produce por tanto la cadena respiratoria. Tiene lugar en el citoplasma.
- Respiración aerobia: proceso de oxidación completa de los compuestos orgánicos en el que el aceptor final de los electrones es el oxígeno. El ATP se obtiene por fosforilación oxidativa. Tiene lugar en las mitocondrias.

Glucólisis. Es una de las rutas metabólicas más antiguas. Se realiza en anaerobiosis, ya que no interviene el oxígeno. Es también una ruta prácticamente universal, pues la realizan casi todos los seres vivos, ya estén formados por células eucariotas o procariotas. La síntesis de ATP tiene lugar por fosforilación a nivel de sustrato. Se realiza en el citoplasma. La reacción global es la siguiente:



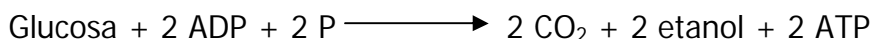
La finalidad de esta ruta es la degradación de la molécula de glucosa para obtener moléculas reductoras y ATP.

Destino del ácido pirúvico. Una vez obtenido el ácido pirúvico o piruvato en la glucólisis, puede tener dos destinos:

- Fermentación, en un ambiente carente de oxígeno (anaerobiosis).
- Respiración aerobia, en un ambiente con oxígeno (aerobiosis).

Fermentaciones. El concepto de fermentación ya se ha visto en un punto anterior. Hay varios tipos entre los que destacan:

Fermentación alcohólica. Su reacción global es la siguiente:



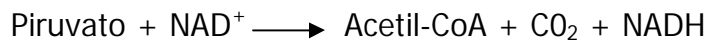
La realizan principalmente levaduras de la especie *Saccharomyces cerevisiae*. Tiene lugar en el citoplasma y su finalidad es la degradación de la molécula de glucosa en ambiente anaerobio para obtener ATP. A nivel industrial tiene importancia porque se utiliza para la obtención de pan y bebidas alcohólicas (ver bloque de *Microbiología y Biotecnología*).

Fermentación láctica. Para ver su reacción global y su importancia industrial, ver el bloque de *Microbiología y Biotecnología*. Esta ruta tiene lugar también en el citoplasma y su finalidad es la misma que la de la fermentación alcohólica. La realizan las bacterias lácticas (*Lactobacillus* y *Lactococcus*).

Metabolismo aerobio. Cosnta de las siguientes fases:

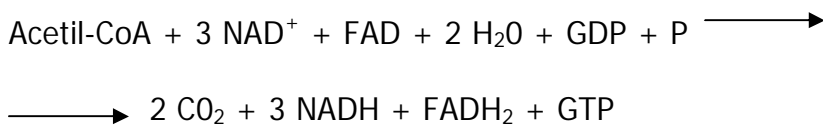
- Glucólisis
- Respiración aerobia
 - Formación del acetil-CoA (descarboxilación oxidativa)
 - Ciclo de Krebs
 - Cadena respiratoria (cadena de transporte de electrones)

Formación del acetil-CoA. El acetil-CoA se obtiene a partir del piruvato generado en la glucólisis. El piruvato es conducido al interior de la mitocondria y una vez allí la piruvato deshidrogenasa lo transforma en acetil-CoA. La reacción global del proceso es la siguiente:



La finalidad del proceso es obtener acetil-CoA para introducirlo en el ciclo de Krebs.

Ciclo de Krebs, ciclo del ácido cítrico o ciclo de los ácidos tricarboxílicos. Es una ruta común en la oxidación completa de glúcidos, ácidos grasos y aminoácidos. La finalidad de esta ruta es la oxidación completa del acetil-CoA hasta CO₂. Se realiza en la matriz mitocondrial en las células eucariotas y en el citoplasma en las procariotas. La reacción global del proceso es la siguiente:



Cadena respiratoria. Su finalidad es la obtención de ATP mediante la fosforilación oxidativa. Se realiza en las crestas mitocondriales en las células eucariotas y en la membrana plasmática en las procariotas. Está constituida por una serie de moléculas transportadoras de electrones (citocromos), que tras reducirse y oxidarse transfieren los electrones hasta el oxígeno molecular. Durante este transporte de electrones se produce energía que es utilizada para sintetizar moléculas de ATP. Los electrones llegan a esta cadena por medio de los coenzimas NADH y FADH₂, obtenidos en oxidaciones anteriores de la glucólisis, descarboxilación oxidativa y ciclo de Krebs, y de esta manera volverán a obtenerse sus formas oxidadas.

Comparación entre las vías aerobia y anaerobia. Ver diferencias entre respiración aerobia y fermentación.

Catabolismo de los lípidos. El catabolismo de los lípidos o triacilglicéridos comienza por su hidrólisis, obteniéndose glicerina y ácidos grasos. La glicerina puede incorporarse a la glucólisis al transformarse en un metabolito intermedio de esta ruta. Los ácidos grasos sufren un proceso degradativo denominado *beta*-oxidación que tiene lugar en la matriz mitocondrial en las células eucariotas y en el citoplasma en las procariotas.

Durante la *beta*-oxidación de un ácido graso se obtiene otro ácido graso con dos carbonos menos, una molécula de acetil-CoA y coenzimas reducidos FADH_2 y NADH (que irán a la cadena respiratoria). Este proceso se realizará varias veces hasta que al final a partir de un ácido graso de cuatro carbonos se obtengan dos acetil-CoA, quedando así totalmente degradado el ácido graso. Todos los acetil-CoA se incorporarán al ciclo de Krebs.

ANABOLISMO

Fotosíntesis. La fotosíntesis es un proceso anabólico por el cual las plantas, algas y algunas bacterias pueden transformar la energía de la luz en energía química, almacenarla en forma de ATP, y utilizarla luego para sintetizar moléculas orgánicas a partir de moléculas inorgánicas. La vida en el planeta depende de los organismos fotosintéticos pues estos pueden sintetizar materia orgánica *de novo*. Por eso constituyen la base fundamental de las cadenas tróficas, es decir, son los productores primarios de los ecosistemas.

Se realiza en los cloroplastos de las células eucariotas y en el citoplasma en las procariontes. Hay dos tipos de fotosíntesis:

- Oxigénica: se libera oxígeno molecular al producirse la fotólisis del agua ya que este compuesto actúa como donador de electrones. Es propia de plantas, algas y cianobacterias.
- Anoxigénica: No se produce la fotólisis del agua ya que la molécula donadora de los electrones es el H_2S y por tanto no se libera oxígeno sino azufre. Es propia del resto de las bacterias fotosintéticas.

Sistemas de captación de la luz. La captación de la luz la realizan los fotosistemas. Pueden ser de dos tipos:

- Fotosistema I (PSI). Es un conjunto de proteínas más pigmentos fotosintéticos (clorofilas) que está situado sobre la membrana tilacoidal de los cloroplastos. Capta luz de longitud de onda igual o superior a 700 nm.
- Fotosistema II (PSII). Solo se diferencia del anterior en que la longitud de onda que capta ha de ser igual o superior a 680 nm.

Etapas del proceso fotosintético. Las etapas de la fotosíntesis oxigénica son las siguientes:

- Fase luminosa. En esta etapa se produce la transformación de la energía luminosa en energía química aprovechable por la célula. Se realiza en la membrana tilacoidal.
 - Acíclica. En ella tienen lugar los siguientes procesos:
 - Fotólisis del agua.
 - Fotofosforilación del ADP para obtener ATP.
 - Fotorreducción del NADP^+ para obtener NADPH.
 - Cíclica. Sólo se produce fotofosforilación.

Al captar la luz los pigmentos fotosintéticos se oxidan. Los electrones que pierden le son repuestos por la molécula de agua, que al romperse (fotólisis) libera oxígeno. Los electrones perdidos pasan a una serie de moléculas que se reducen y oxidan sucesivamente al captar primero y luego liberar dichos electrones. Durante este transporte se produce energía que se utiliza para sintetizar moléculas de ATP. Los electrones finalmente serán captados por el NADP^+ que se reducirá obteniéndose NADPH. Todos estos procesos tienen lugar en la membrana tilacoidal.

- Fase oscura. En esta etapa se utiliza el ATP y el NADPH obtenidos en la fase luminosa para obtener materia orgánica a partir de materia inorgánica. Se realiza en el estroma del cloroplasto. Comprende varios procesos biosintéticos:
 - Síntesis de compuestos orgánicos nitrogenados.
 - Síntesis de compuestos orgánicos con azufre.
 - Síntesis de compuestos de carbono a partir del CO_2 atmosférico. Este proceso se denomina ciclo de Calvin y consta de tres etapas:
 1. Fijación del CO_2 sobre la ribulosa-1,5-difosfato mediante la enzima rubisco.
 2. Reducción del átomo de carbono procedente del CO_2 .
 3. Regeneración de la ribulosa-1,5-difosfato.Como en cada vuelta del ciclo de Calvin se fija una molécula de CO_2 , para sintetizar una molécula de glucosa (6 carbonos) tendrían que darse 6 vueltas, y como en cada una de ellas se consumen 3 ATP y 2 NADPH, en total se necesitarán 18 moléculas de ATP y 12 de NADPH para obtener una molécula de glucosa.