

TEMA 10: METABOLISMO. CATABOLISMO Y ANABOLISMO.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

- 1. Introducción.**
- 2. Catabolismo.**
 - ▶ Fases del catabolismo.
 - ▶ Tipos de catabolismos según el aceptor final de electrones.
- 3. Catabolismo de los glúcidos.**
 - 3.1. Glucólisis**
 - a. Etapas de la glucólisis.
 - b. La formulación de la reacción global (balance) de la glucólisis.
 - 3.2. Fermentación.**
 - a. Tipos de fermentación.
 - 3.3. Respiración celular. (TEMA 11)**
 - a. Etapas de la respiración celular.
 - a.1. Obtención del acetil CoA
 - a.2. Ciclo de Krebs.
 - a.3. Cadena respiratoria o cadena transportadora de electrones.
 - a.4. Fosforilación oxidativa.
- 4. Catabolismo de los lípidos.**
 - 4.1. β -oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen.**
 - a. Etapas de la β -oxidación.
 - a.1. Oxidación
 - a.2. Hidratación
 - a.3. Oxidación del grupo alcohol del carbono β
 - a.4. Rotura del enlace entre los carbonos β y gamma del cetoacil-CoA
- 5. Catabolismo de los prótidos. (proteínas-aminoácidos).**
- 6. Panorámica general del catabolismo**
- 7. Anabolismo.**
- 8. Fotosíntesis. (TEMA 12)**
 - 8.1. Fases y localización.**
 - 8.1.1. Fase luminosa o Fotofosforilación.
 - a. El proceso se desarrolla del siguiente modo:
 - a.1. Captura de energía luminosa.
 - a.2. Transporte de electrones.
 - a.3. Fotolisis del agua.
 - a.4. Fosforilación fotosintética.
 - Fotofosforilación acíclica
 - Fotofosforilación cíclica
 - b. Ecuación global de la fase luminosa.
 - 8.1.2. Fase oscura o ciclo de Calvin-Benson
 - 8.1.3. Factores que influyen en la fotosíntesis

TEMA 10: METABOLISMO. CATABOLISMO Y ANABOLISMO.

1. Introducción.

Concepto de metabolismo: conjunto de reacciones químicas que se producen en el interior de las células y que conducen a la transformación de unas biomoléculas en otras. Las distintas reacciones químicas del metabolismo se denominan vías metabólicas y las moléculas que en ellas intervienen metabolitos.

Catabolismo: transformación de moléculas orgánicas complejas en otras sencillas con liberación de energía que se almacena en los enlaces fosfato de ATP.

Anabolismo: Síntesis de moléculas complejas a partir de otras sencillas, para lo cual se necesita suministrar energía.

Las moléculas de ATP pueden proceder de las reacciones catabólicas, de la fotosíntesis y quimiosíntesis.

Existen dos mecanismos para sintetizar ATP:

- Fosforilación a nivel de sustrato: se forma un compuesto intermediario rico en energía y en la siguiente reacción se utiliza la energía liberada por la hidrólisis de este compuesto fosforilado que recoge el ADP para formar ATP.
- Fosforilación en el transporte de electrones: Hay nucleótidos que desempeñan un papel similar al ATP, como el GTP y hay que señalar también el papel de los electrones como vehículo de transferencia de energía.

¿Para qué utiliza la célula la energía?

1. Sintetizar biomoléculas y macromoléculas a partir de precursores simples.
2. Transportar activamente iones y moléculas a través de su membrana.
3. Realizar trabajo mecánico en la contracción muscular y en otros movimientos celulares.
4. Producir calor para mejorar las reacciones.

TEMA 10: METABOLISMO. CATABOLISMO Y ANABOLISMO.

Catabolismo (RESUMEN)

Es la vía destructiva del metabolismo. Las moléculas orgánicas complejas se transforman en sencillas y se libera energía en forma de ATP. **Las reacciones que tienen lugar en el metabolismo son reacciones redox**, en las que unos compuestos ganan electrones y se reducen y otros los ceden y se oxidan. Las enzimas que intervienen en estas reacciones son las **deshidrogenasas**.

Una molécula cuando pierde hidrógenos pierde electrones y se oxida y cuando los gana se reduce.

Los hidrógenos desprendidos antes de llegar a la molécula final aceptora de hidrógenos son captados por **NAD, NADP, FAD**, que son coenzimas de las deshidrogenasas. Los protones van por una vía y los electrones por otra. Los electrones son captados por los citocromos que se van oxidando y reduciendo según ceden y captan los electrones y los protones suelen ser bombeados en determinados puntos acoplados al transporte de electrones y, por tanto, se forma ATP, cuando los protones son captados por la ATP sintetasa.

Existen dos tipos de catabolismo: **fermentación y respiración**.

En la **fermentación** el aceptor y dador de electrones son compuestos orgánicos.

En la **respiración** el dador de electrones es un compuesto orgánico y el aceptor es un compuesto inorgánico, si es el oxígeno sería respiración **aerobia** y si es el ion nitrato o sulfato la respiración es **anaerobia**.

Anabolismo (RESUMEN)

Es la vía constructiva del metabolismo, es decir la ruta de síntesis de moléculas complejas a partir de sustancias sencillas. Si las moléculas son inorgánicas (nitrato, CO₂) ... se denomina **anabolismo autótrofo** y si son orgánicas (glucosa, aa...) **anabolismo heterótrofo**.

TEMA 10: METABOLISMO. CATABOLISMO Y ANABOLISMO.

Anabolismo autótrofo:

- **Fotosíntesis**, gracias a la energía luminosa. Lo realizan las plantas, algas, cianobacterias y bacterias fotosintéticas
- **Quimiosíntesis**, por medio de la energía desprendida de las reacciones de oxidación-reducción. Algunas bacterias.

Anabolismo heterótrofo: Se da en todos los organismos y es muy similar en todos ellos. Su objeto es la síntesis de reservas energéticas y crear estructuras para que el organismo pueda crecer o renovar estructuras determinadas. Ejemplos: Gluconeogénesis: síntesis de glucosa a partir de aminoácidos. Glucogenogénesis: síntesis de glucógeno. Síntesis de ácidos grasos en el citosol a partir de acetil CoA. Síntesis de aa a partir de componentes del ciclo de Krebs y glucólisis.

2. Catabolismo.

Es el conjunto de reacciones metabólicas que tienen por objeto obtener energía a partir de compuestos orgánicos complejos que se transforman en otros más sencillos. Las fermentaciones y la respiración celular aerobia son las vías catabólicas más corrientes para la obtención de la energía contenida en las sustancias orgánicas. Otras vías catabólicas son, la beta-oxidación de los ácidos grasos, el ciclo de Krebs, la fermentación láctica, la fermentación acética etc.

► Fases del catabolismo.

- **Fase I, fase inicial o preparatoria**, en ella las grandes moléculas de los elementos nutritivos se degradan hasta liberar sus principales componentes (los polisacáridos se degradan en monosacáridos; los lípidos a ác. grasos y glicerina, y las proteínas liberan sus aminoácidos).
- **Fase II o fase intermedia**, en ella los diversos productos formados en la fase I, son convertidos en una misma molécula más sencilla, el Acetil-coenzima A (acetil CoA).
- **Fase III o fase final**, en la que el acetil-CoA (se incorpora al ciclo de Krebs) da lugar a moléculas elementales CO₂ y H₂O.

TEMA 10: METABOLISMO. CATABOLISMO Y ANABOLISMO.

De estas tres fases, la intermedia y la final son comunes para todos los principios inmediatos orgánicos, glúcidos, lípidos y proteínas.

El catabolismo de cada uno de ellos difiere en la fase inicial, los glúcidos (**glucólisis**) y las proteínas (**desaminación y transaminación**), ocurre en el hialoplasma, mientras que para los lípidos (**β-oxidación**), ocurre en la matriz mitocondrial.

► Tipos de catabolismo según el aceptor final de electrones.

Existen dos tipos de catabolismo según sea el aceptor final de electrones:

- Fermentación. Si se degrada a un compuesto todavía orgánico, pero más sencillo. En ella el aceptor final de electrones es un compuesto orgánico.
- Respiración celular. Si la degradación del compuesto orgánico es hasta CO₂ y H₂O. El aceptor final de electrones es una sustancia inorgánica.
 - *respiración aerobia*, se necesita oxígeno.
 - *respiración anaerobia*, no necesita oxígeno

3. Catabolismo de los glúcidos.

Básicamente la degradación total de la glucosa es similar a una combustión:



Esta degradación tiene lugar, fundamentalmente, en dos etapas:

- **Glucólisis**, es anaerobia y se desarrolla en el hialoplasma.
- **Respiración celular**, es aerobia y se realiza en las mitocondrias

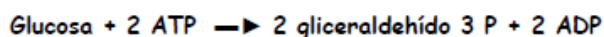
3.1. Glucólisis

La **glucólisis** o **vía de Embden-Meyerhof** es un conjunto de **reacciones anaerobias** que **tienen lugar en el hialoplasma** celular, en la cual **se degrada la glucosa** (6 C: 6 átomos de carbono), transformándola en dos moléculas de ácido pirúvico (3 C). La glucólisis es utilizada por casi todas las células como medio para obtener energía (de los azúcares). Cualquiera que sea la fuente de glucosa utilizada, el resultado final será la **obtención de 2 ácido pirúvico, 2 ATP y 2 NADH + 2 H⁺**.

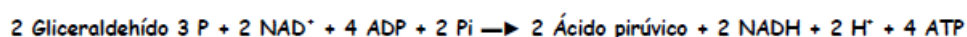
TEMA 10: METABOLISMO. CATABOLISMO Y ANABOLISMO.

a. Etapas de la glucólisis.

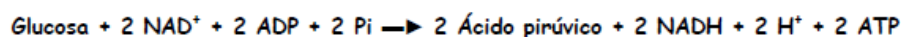
a.1. Etapa de activación. La glucosa, tras su activación y transformación en otras hexosas, se descompone en dos moléculas de gliceraldehído-3-fosfato, es decir, en dos moléculas de tres átomos de carbono. Para ello se necesita la energía aportada por dos moléculas de ATP.



a.2. Etapa de degradación. Las dos moléculas de gliceraldehído-3-fosfato se oxidan hasta formar dos moléculas de ácido pirúvico. En esta oxidación se necesita como enzima NAD^+ , que se reduce a $\text{NADH} + \text{H}^+$. La energía liberada en el proceso es utilizada para fabricar cuatro moléculas de ATP.



b. La formulación de la reacción global (balance) de la glucólisis.



Por cada molécula de glucosa que ingresa en esta vía se obtiene: 2 moléculas de ácido pirúvico, 2 moléculas de $\text{NADH} + 2\text{H}^+$ y 2 moléculas de ATP.

VÍAS DEL CATABOLISMO DEL PIRÚVICO

Para evitar que la glucólisis se detenga por un exceso de ácido pirúvico y $\text{NADH} + \text{H}^+$ o por falta de NAD^+ , se necesitan otras vías que eliminen los productos obtenidos y recuperen los substratos imprescindibles. Esto va a poder realizarse de dos maneras:

- En condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno) lo hace por **fermentación** que tiene lugar en el hialoplasma.
- En condiciones aerobias, lo hace mediante la **respiración celular** que tiene lugar en las mitocondrias.

En un mismo organismo pluricelular pueden darse rutas aeróbicas o anaeróbicas, según las condiciones ambientales de la célula. Por ejemplo, la célula muscular puede funcionar

TEMA 10: METABOLISMO. CATABOLISMO Y ANABOLISMO.

con oxígeno hasta que éste llega con dificultad al tejido. Trabaja entonces en condiciones anaerobias (fermentación) produciendo ácido láctico.

3.2. Fermentación.

Se llama **fermentación** a un conjunto de rutas metabólicas, que se realizan en el hialoplasma, por las cuales ciertos organismos obtienen energía por la oxidación incompleta de compuestos orgánicos. Los electrones liberados en esta oxidación no son llevados al oxígeno molecular (tal como ocurre en la respiración celular), sino que son aceptados por un compuesto orgánico sencillo que es el producto final de la fermentación. Así, la oxidación de la materia orgánica no es completa (no se transforma totalmente en materia inorgánica) y el rendimiento energético es bajo. El combustible que con más frecuencia se utiliza es algún tipo de azúcar, pero pueden ser utilizados otros compuestos orgánicos en estos procesos.

La fermentación la llevan a cabo diferentes tipos de bacterias capaces de vivir sin oxígeno, pero también se da en células aerobias como las musculares, que la utilizan como mecanismo complementario de la respiración celular al faltar el oxígeno.

a. Tipos de fermentación. **MUY IMPORTANTE**

a.1. Fermentación anaerobia, son las más típicas; no requieren oxígeno.

a.1.1. Fermentación láctica. En la que el producto final que se obtiene es ácido láctico. La realizan ciertas bacterias como las del género *Lactobacillus* (utilizadas para la obtención de yogur y queso) y las células musculares cuando el aporte de oxígeno es insuficiente.

a.1.2. Fermentación alcohólica. En la que se obtiene alcohol etílico. La realizan ciertas levaduras (género *Saccharomyces*) utilizadas para fabricar gran variedad de bebidas alcohólicas (vino, cerveza, etc.) a partir de diversos azúcares (de uva, de cereales, etc).

a.2. Fermentación oxidativa. Requieren oxígeno (son aerobias) pero éste no actúa como último aceptor de electrones sino como oxidante del sustrato. La más conocida es la

TEMA 10: METABOLISMO. CATABOLISMO Y ANABOLISMO.

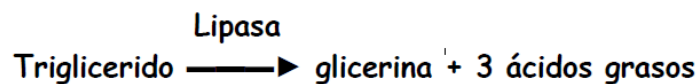
fermentación acética (se produce vinagre a partir del vino) y en la cual, el alcohol etílico es oxidado a ácido acético (vinagre).

3.3. Respiración celular. (TEMA 11)

4. Catabolismo de los lípidos.

Los lípidos se emplean como sustancias de reserva, pues de su degradación se obtiene más energía que de la degradación de los glúcidos. Más concretamente son los acilglicéridos los que tienen mayor capacidad para producir energía durante el catabolismo.

Como recordaras, los acilglicéridos constan de una molécula de glicerina esterificada por uno, dos o tres ácidos grasos. Su catabolismo comienza con la separación de ambos componentes, esta hidrólisis es llevada a cabo por lipasas (enzimas) que rompen la unión tipo éster y se obtiene glicerina y ácidos grasos.

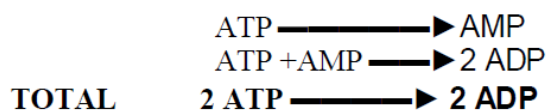


La glicerina se incorpora a la glucólisis para su degradación y los ácidos grasos penetran en la matriz mitocondrial, tras ser activados con Coenzima A (HS-Co A) en la membrana externa de la mitocondria, con consumo de 1 ATP. La principal vía catabólica de los lípidos es la **β -oxidación** de los ácidos grasos.

4.1. β -oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen.

Los ácidos grasos saturados (sin dobles enlaces) entran en la mitocondria al mismo tiempo que se unen a una molécula de coenzima A, el ácido graso quedará activado, formando un Acil-Co A, para ello se requiere la energía de un ATP que pasa, no a ADP, sino a AMP (el desprendimiento de energía es mayor). Por eso, a efectos del rendimiento energético se considera que en este paso se gastan 2 ATP uno el que ya vimos, y otro necesario para transformar el AMP en ADP.

TEMA 10: METABOLISMO. CATABOLISMO Y ANABOLISMO.



a. Etapas de la β -oxidación.

a.1. **Oxidación**

a.2. **Hidratación**

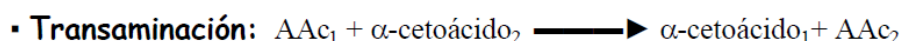
a.3. **Oxidación del grupo alcohol del carbono β**

a.4. **Rotura del enlace entre los carbonos β y gamma del cetoacil-CoA**

5. Catabolismo de los prótidos. (proteínas-aminoácidos).

Las proteínas no se usan como fuente de energía, pero los aminoácidos que sobran tras la síntesis de proteínas pasan a ser usados como combustible celular. Estos se separan en grupos amino (excretados con la orina) y cadenas carbonadas que se incorporan en diversos momentos del catabolismo y son degradadas hasta CO_2 en la respiración mitocondrial.

Las reacciones por las cuales se separan los grupos amino de los aminoácidos (AAc) son la Transaminación y la Desaminación, originando cetoácidos como el pirúvico e intermediarios del ciclo de Krebs.



6. Panorámica general del catabolismo

La mayor parte de las cadenas catabólicas se desarrollan en las mitocondrias, por lo que son consideradas los orgánulos respiratorios de la célula.

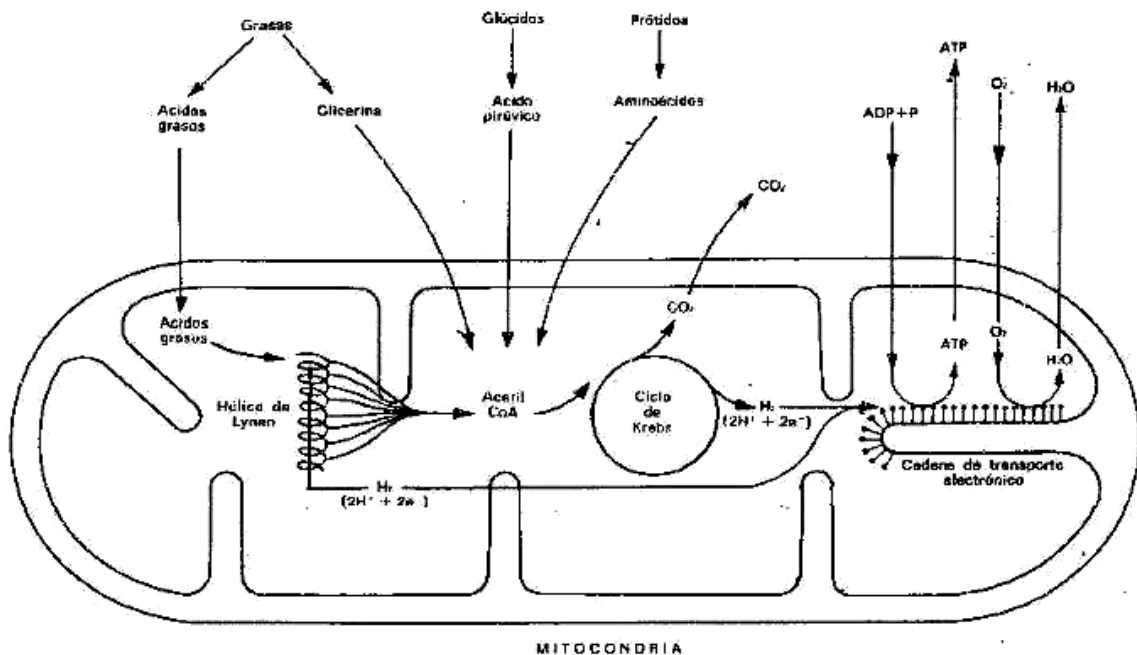
Las distintas moléculas orgánicas, en un principio siguen sus propias rutas catabólicas, pero todas acaban confluyendo en el ciclo de Krebs (el acetil-CoA generado tras la degradación de todas las moléculas acaba confluyendo en el ciclo de Krebs. Lo veremos en el Tema 11 - Respiración celular), de donde se obtienen los productos finales propios

TEMA 10: METABOLISMO. CATABOLISMO Y ANABOLISMO.

de todos los carburantes metabólicos: CO_2 , protones y electrones, que producirán energía en la cadena transportadora de electrones.

- Los glúcidos ingresan en la célula en estado de monosacáridos y en el citosol son sometidos a la glucólisis, transformándose en ácido pirúvico, el cual ingresa en la mitocondria para transformarse en acetyl-CoA.
- Las grasas, su catabolismo se inicia con su escisión en ácidos grasos y glicerina, lo cual ocurre fuera de las células. Los ácidos grasos son activados en el citosol y penetran en la mitocondria, donde sufren la β -oxidación transformándose en acetyl-CoA. La glicerina también se transforma en acetyl-CoA.
- Los prótidos entran en la célula descompuestos hasta el estado de aminoácidos, son transformados en cetoácidos por desaminación y penetran en la mitocondria para dar igualmente acetyl-CoA

Todos los acetyl-CoA así obtenidos se incorporan al ciclo de Krebs que ocurre en la matriz de las mitocondrias. Por último, los electrones que se obtienen de todos los procesos anteriores y que se encuentran reduciendo a las coenzimas deshidrogenasas (NAD y FAD) van a parar a la cadena de transporte electrónico, situada en las crestas mitocondriales, donde son aceptados finalmente por el oxígeno. La energía liberada en esta cadena sirve para sintetizar ATP por fosforilación oxidativa.



TEMA 10: METABOLISMO. CATABOLISMO Y ANABOLISMO.

7. Anabolismo.

El anabolismo representa la parte constructiva del metabolismo, consiste en la síntesis de moléculas complejas a partir de otras más sencillas, con el consiguiente gasto de energía, tomada de los ATP producidos durante las fases catabólicas.

Estas moléculas sintetizadas pueden:

- Formar parte de la propia estructura de la célula.
- Ser almacenadas para su posterior utilización como fuente de energía.
- Ser exportadas al exterior de la célula.

Procesos del Anabolismo		
GLÚCIDOS	Ác. Pirúvico	Glucosa (gluconeogénesis y es casi la inversa de la glucólisis)
	Glucosa	Glucógeno
LÍPIDOS	Acetil-Co A	Ácidos grasos
PROTEÍNAS	Aminoácidos	Proteínas
ÁC. NUCLEICOS	Nucleótidos	ADN (Replicación)
		ARN (Transcripción)

El anabolismo representa la parte constructiva del metabolismo, en la que el organismo fabrica sus biomoléculas propias. Se distinguen dos tipos principales:

- **anabolismo heterótrofo** consiste en la fabricación de M.O. propia a partir de M.O. capturada de otros seres vivos. Lo llevan a cabo muchos organismos: la mayoría de las bacterias, los hongos, muchos protistas y los animales.

- **anabolismo autótrofo** consiste en la fabricación de M.O. propia a partir de materia inorgánica y una fuente de energía. A su vez presenta dos tipos (los veremos en el Tema 12 aunque os lo introduzco a continuación):

a) **quimiosíntesis** utiliza como fuente de energía ciertas reacciones de óxido-reducción de materia inorgánica. La realizan algunos grupos de bacterias (bacterias del Fe, del H, ...).

b) **fotosíntesis** utiliza la luz solar como fuente de energía. También presenta distintos tipos, la anoxigénica, que no desprende O₂ (la que realizan las bacterias púrpuras fotosintéticas, en la que el H₂S cede los e⁻ y se desprende S elemental), y la oxigénica (que realizan las cianobacterias y los vegetales, en la que el H₂O cede los e⁻ y se desprende O₂).

TEMA 10: METABOLISMO. CATABOLISMO Y ANABOLISMO.

Diferencias metabólicas entre células autótrofas y heterótrofas

EN EL ANABOLISMO

- En las células autótrofas existe una primera parte de su metabolismo que es autótrofo y una segunda parte que es heterótrofo:
 - en el primero se parten de sustancias inorgánicas para obtener sustancias orgánicas sencillas, por ejemplo, glucosa y se utiliza energía libre (luminosa en el caso de la fotosíntesis o producida en reacciones químicas en el caso de la quimiosíntesis). → *AUTÓTROFO*
 - en el segundo, en cambio, se parte ya de sustancias orgánicas sencillas, como la glucosa, para obtener otras más complejas como el almidón, y se emplea la energía del ATP. → *HETERÓTROFO*
- Las células heterótrofas sólo tienen un anabolismo heterótrofo, prácticamente como el de las autótrofas, con la diferencia de que incorporan las moléculas orgánicas del exterior.

EN EL CATABOLISMO

- El catabolismo se puede considerar idéntico en ambos tipos celulares

8. Fotosíntesis. (TEMA 12)