Catabolismo: respiración celular y fermentaciones

Test de 10 preguntas y flashcards de este tema en farmeandopau.com ›

Última revisión: 9 de noviembre de 2026.

Escanea y haz el test del tema

LA IDEA EN 30 SEGUNDOS

El **catabolismo** degrada y **oxida** moléculas orgánicas para obtener **ATP** y **poder reductor** (NADH, $FADH_2$). La glucosa empieza en la **glucólisis** (citosol: 2 piruvato, 2 ATP y 2 NADH). **Con O_2**, el piruvato entra en la mitocondria: **descarboxilación oxidativa** → **acetil-CoA** → **ciclo de Krebs** (matriz) → **cadena respiratoria** y **fosforilación oxidativa** (crestas), donde el O_2 es el aceptor final. Los ácidos grasos llegan al acetil-CoA por **β-oxidación**. **Sin O_2**, la **fermentación** (láctica o alcohólica) solo regenera NAD^+: **2 ATP** por glucosa frente a **30–32** (36–38 con los valores clásicos) de la respiración.

1 Metabolismo, catabolismo y anabolismo

Es la pregunta de entrada de casi todas las comunidades: definir, comparar y poner un ejemplo de cada tipo de ruta. Baleares, Cantabria y la Comunitat Valenciana la piden casi literal.

- **Metabolismo**: conjunto de reacciones químicas de la célula, catalizadas por **enzimas** y organizadas en **rutas metabólicas** (secuencias en las que el producto de una reacción es el sustrato de la siguiente; los compuestos intermedios se llaman **metabolitos**).
- **Catabolismo**: rutas de **degradación** de moléculas complejas a otras más sencillas. Son **oxidaciones** y **liberan energía** (exergónicas), que se guarda en ATP y en coenzimas reducidas. Son **convergentes**: muchas moléculas distintas acaban en unas pocas (acetil-CoA, CO_2, H_2O).
- **Anabolismo**: rutas de **síntesis** de moléculas complejas a partir de sencillas. Son **reducciones** y **consumen energía** (endergónicas): gastan ATP y NADPH. Son **divergentes**: de pocos precursores salen muchas moléculas distintas (Tema 14).
- Los dos se acoplan: el catabolismo da al anabolismo **energía (ATP)**, **poder reductor** y **precursores**. Una ruta que sirve a los dos, como el **ciclo de Krebs**, es **anfibólica**.
- Oxidar es **perder electrones** (en las biomoléculas, casi siempre junto con protones: perder hidrógenos). Lo que se oxida cede los electrones a una coenzima que se reduce (NAD^+ → NADH).

Catabolismo

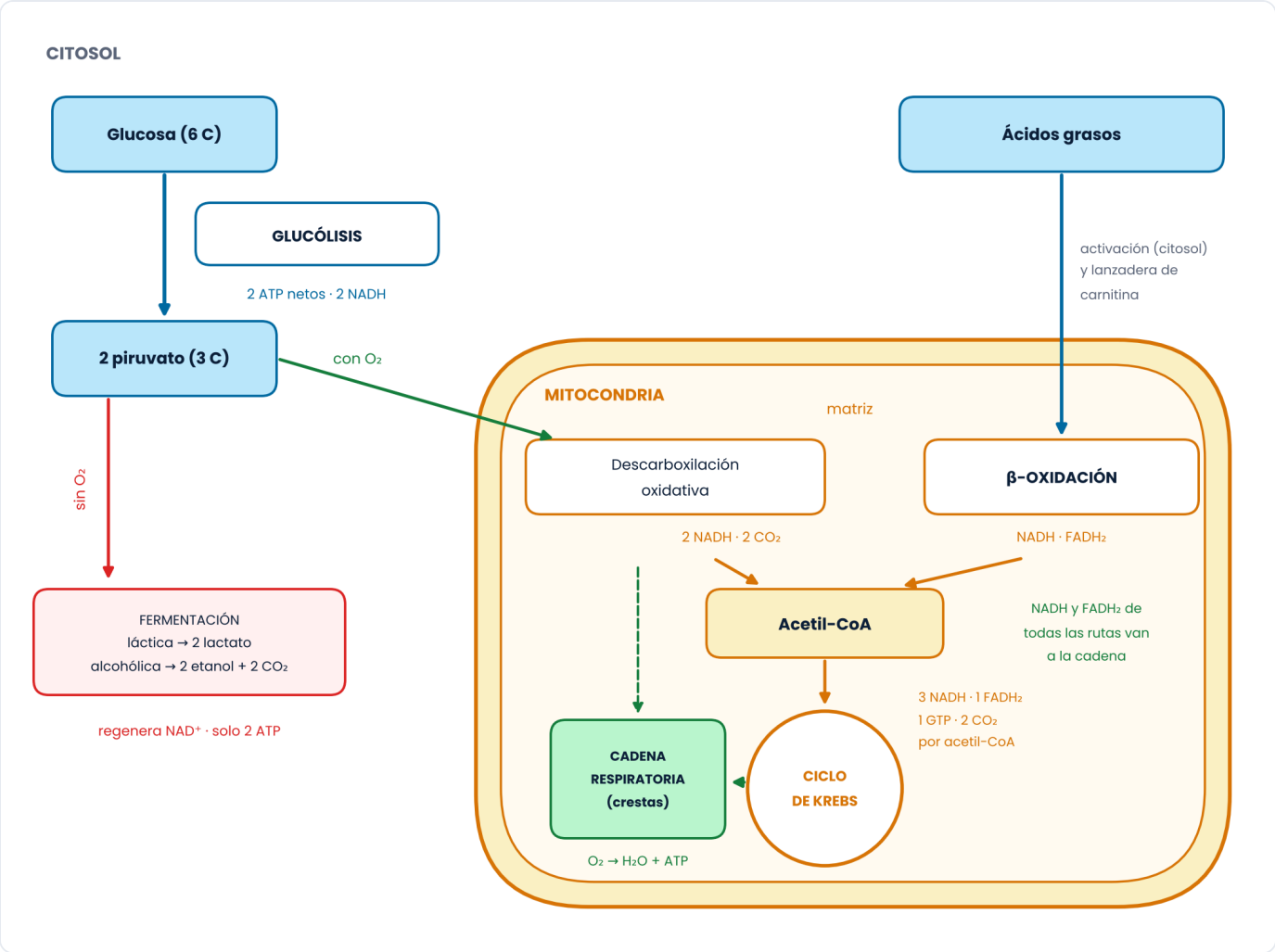
degradación

- Moléculas complejas → sencillas
- Oxidación
- Desprende energía: produce ATP
- Produce poder reductor (NADH, $FADH_2$)
- Convergente
- Ej.: glucólisis, Krebs, β-oxidación

Anabolismo

síntesis

- Moléculas sencillas → complejas
- Reducción
- Consume energía: gasta ATP
- Consume poder reductor (sobre todo NADPH)
- Divergente
- Ej.: ciclo de Calvin, gluconeogénesis, síntesis de proteínas



Mapa del catabolismo. La glucólisis ocurre en el citosol; con O_2, el piruvato entra en la mitocondria y se convierte en acetil-CoA, que también sale de la β-oxidación de los ácidos grasos. El acetil-CoA se oxida en el ciclo de Krebs (matriz) y todo el NADH y el $FADH_2$ cede sus electrones a la cadena respiratoria (crestas). Sin O_2, el piruvato se fermenta en el citosol.

2 El ATP, las coenzimas y los tipos de nutrición

- **ATP** (adenosín trifosfato): la «moneda energética». Su hidrólisis a ADP + P_i libera unos **30,5 kJ/mol** en condiciones estándar; la célula la acopla a reacciones que necesitan energía (síntesis, transporte activo, contracción).
- La célula fabrica ATP de tres formas: **fosforilación a nivel de sustrato** (un metabolito cede su fosfato al ADP; glucólisis y Krebs), **fosforilación oxidativa** (ATP sintasa movida por los protones que bombea la cadena respiratoria) y **fotofosforilación** (lo mismo, con la energía de la luz; Tema 14).
- **NAD^+/NADH** y **FAD/$FADH_2$**: transportan electrones en el **catabolismo** y los llevan a la cadena respiratoria. **$NADP^+$/NADPH**: aporta el poder reductor del **anabolismo** (ciclo de Calvin, síntesis de ácidos grasos). La **coenzima A (CoA)** transporta grupos acilo (el acetilo del acetil-CoA).
- Las coenzimas derivan de **vitaminas** del grupo B: el NAD^+ de la niacina (B_3), el FAD de la riboflavina (B_2) y la CoA del ácido pantoténico (B_5) (Tema 7).
- **Tipos de nutrición**: según la **fuente de carbono**, un organismo es **autótrofo** (CO_2) o **heterótrofo** (materia orgánica); según la **fuente de energía**, **fotótrofo** (luz) o **quimiótrofo** (reacciones químicas de oxidación).

Fotoautótrofos

C del CO_2; energía de la **luz**; dador de electrones H_2O (plantas, algas, cianobacterias) o H_2S (bacterias verdes y púrpuras del azufre).

Quimioautótrofos

C del CO_2; energía de la **oxidación de compuestos inorgánicos** (NH_3, NO_2^-, H_2S, Fe^{2+}, H_2). Bacterias **nitrificantes**, **sulfooxidantes**, **del hierro** (quimiosíntesis, Tema 14).

Fotoheterótrofos

C de **compuestos orgánicos**; energía de la **luz**. Dadores de electrones: **compuestos orgánicos**. Son pocos grupos de bacterias, como las **bacterias púrpuras no sulfúreas**.

Quimioheterótrofos

C y energía de **compuestos orgánicos** que oxidan, que son también los dadores de electrones. **Animales, hongos, protozoos** y la mayoría de las **bacterias**.

La tabla de 1,5 puntos

Baleares pidió en 2026 (extraordinaria) una tabla con los cuatro tipos nutricionales: fuente de carbono, fuente de energía, dadores de electrones y ejemplos, por 1,5 puntos. Madrid (2026, extraordinaria) y Cantabria (2025) también la han preguntado. Apréndete las cuatro tarjetas de arriba.

3 Glucólisis

- **Qué es**: ruta que oxida **1 glucosa (6 C)** a **2 piruvato (3 C)**. Tiene **10 reacciones**, todas en el **citosol**, en prácticamente todas las células (procariotas y eucariotas).
- **No necesita O_2**: ocurre igual con oxígeno y sin él. Lo que cambia es el destino del piruvato.
- **Fase de inversión** (primeras reacciones): se **gastan 2 ATP** para fosforilar la glucosa y romperla en dos triosas fosfato. **Fase de beneficio**: las dos triosas se oxidan (**2 NADH**) y forman **4 ATP** por **fosforilación a nivel de sustrato**.
- **Balance neto por glucosa: 2 piruvato, 2 ATP y 2 NADH.**
- La glucólisis solo sigue si hay **NAD^+** para oxidar las triosas: en aerobiosis lo devuelve la cadena respiratoria (a través de lanzaderas); en anaerobiosis, la fermentación.
- No hace falta aprender los intermediarios en ninguna comunidad (Asturias, Madrid y la Comunitat Valenciana lo dicen expresamente); sí sustrato, productos, lugar y balance.

1 Glucosa (6 C)

Entra en el citosol por transportadores (GLUT en animales).

2 Inversión: -2 ATP

La glucosa se fosforila dos veces y se rompe en dos triosas fosfato (gliceraldehído-3-fosfato).

3 Oxidación: 2 NADH

Cada triosa se oxida; el NAD^+ recoge los electrones.

4 Beneficio: +4 ATP

Fosforilación a nivel de sustrato: 2 ATP por triosa.

5 2 piruvato (3 C)

Con O_2 → mitocondria; sin O_2 → fermentación.

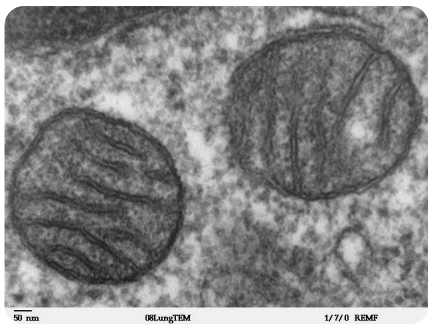
La ecuación global (Asturias, 2025)

$$\text{Glucosa} + 2\,\text{NAD}^+ + 2\,\text{ADP} + 2\,\text{P}_\text{i} \rightarrow 2\,\text{piruvato} + 2\,\text{NADH} + 2\,\text{H}^+ + 2\,\text{ATP} + 2\,\text{H}_2\text{O}$$

Asturias la pidió en la ordinaria de 2025 (1 punto con la localización) y exigía glucosa, piruvato, ADP, ATP, NAD^+, NADH y H_2O.

4 Con oxígeno: descarboxilación oxidativa y ciclo de Krebs

Con O_2, el piruvato entra en la **matriz mitocondrial** (en las bacterias todo ocurre en el citosol y la cadena está en la membrana plasmática).



Dos mitocondrias en un corte de pulmón de mamífero al **microscopio electrónico de transmisión**. Se ven la membrana externa, las **crestas** (pliegues de la membrana interna, donde está la cadena respiratoria) y la **matriz** (donde ocurren la descarboxilación oxidativa, el ciclo de Krebs y la β-oxidación).

- **Descarboxilación oxidativa del piruvato** (complejo **piruvato deshidrogenasa**, matriz): el piruvato pierde un CO_2 y se oxida. Por piruvato:

$$\text{piruvato} + \text{CoA} + \text{NAD}^+ \rightarrow \text{acetil-CoA} + \text{CO}_2 + \text{NADH}$$

  Por glucosa: **2 acetil-CoA, 2 CO_2 y 2 NADH**.
- **Ciclo de Krebs** (de los ácidos tricarboxílicos o del ácido cítrico), en la **matriz**: el acetil-CoA (2 C) se une al **oxalacetato** (4 C) y forma **citrato** (6 C). En cada vuelta se liberan **2 CO_2** y se regenera el oxalacetato.
- **Balance por acetil-CoA (una vuelta): 3 NADH, 1 $FADH_2$, 1 GTP (equivale a 1 ATP) y 2 CO_2.** (En las plantas y muchas bacterias ese paso forma directamente ATP.) Por glucosa, dos vueltas: 6 NADH, 2 $FADH_2$, 2 GTP y 4 CO_2.
- El ciclo **no usa O_2**, pero **se para sin él**: sin cadena respiratoria, el NADH y el $FADH_2$ no se reoxidan, se acaba el NAD^+ y el FAD y las deshidrogenasas del ciclo no pueden trabajar (La Rioja, 2026).
- Es la **vía común** del catabolismo: a él llega acetil-CoA de glúcidos, ácidos grasos y aminoácidos.
- Es **anfibólico** (Madrid lo pide desde 2026–27): sus intermediarios sirven de precursores. El **citrato** saca acetil-CoA al citosol para fabricar ácidos grasos, el **α-cetoglutarato** y el **oxalacetato** dan aminoácidos (glutamato, aspartato) y el oxalacetato también arranca la gluconeogénesis.

Etapa (por glucosa)	Lugar	NADH	$FADH_2$	ATP o GTP directos	CO_2
Glucólisis	Citosol	2	0	2 (netos)	0
Descarboxilación oxidativa	Matriz	2	0	0	2
Ciclo de Krebs (2 vueltas)	Matriz	6	2	2 GTP	4
Total		**10**	**2**	**4**	**6**

Es la cuenta que pidió Castilla y León en 2025 (extraordinaria): NADH y $FADH_2$ en cada ruta a partir de una glucosa.

5 Cadena respiratoria y fosforilación oxidativa

- **Cadena respiratoria** (de transporte de electrones): proteínas y transportadores de la **membrana mitocondrial interna** (crestas) que pasan los electrones del NADH y del $FADH_2$ hasta el **O_2**, el **aceptor final**, que se reduce a **H_2O**.
- **Complejo I** (NADH deshidrogenasa) recibe los electrones del **NADH**; **complejo II** (succinato deshidrogenasa, la única enzima del ciclo de Krebs que está en la membrana) recibe los del **$FADH_2$**. Los dos los pasan a la **ubiquinona (CoQ)**, que los lleva al **complejo III**; el **citocromo c** los lleva al **complejo IV** (citocromo c oxidasa), que los cede al O_2.
- Los electrones bajan de energía y esa energía sirve para **bombear protones** de la matriz al **espacio intermembrana** en los complejos **I, III y IV** (el II no bombea). Por cada NADH salen unos **10 H^+**; por cada $FADH_2$, unos 6.

- Se forma un **gradiente electroquímico de protones** (más H^+ y carga positiva fuera): la **fuerza protón-motriz**.
- **Fosforilación oxidativa**: los H^+ vuelven a la matriz **a favor de gradiente** por la **ATP sintasa** (parte F_o en la membrana, F_1 hacia la matriz), que gira y une **ADP + P_i → ATP**. Es la **teoría quimiosmótica** de **Peter Mitchell** (1961; **Nobel de Química de 1978**).
- Con los valores actuales salen unos **2,5 ATP por NADH** y **1,5 por $FADH_2$** (el $FADH_2$ entra más abajo y bombea menos protones); los libros clásicos daban **3 y 2**.
- El **cianuro** y el **monóxido de carbono** bloquean el complejo IV: se para la cadena y la célula se queda sin ATP aerobio. La **termogenina** (UCP1) de la grasa parda deja volver los H^+ sin pasar por la ATP sintasa: la energía se libera como **calor** (salió en Castilla-La Mancha, 2026).

PREGUNTA RESUELTA

La Rioja · PAU 2026 extraordinaria · 8.B.1: «Justifica por qué el ciclo de Krebs se detiene si no hay oxígeno, aunque el oxígeno no participe directamente en él. (0,5 puntos)»

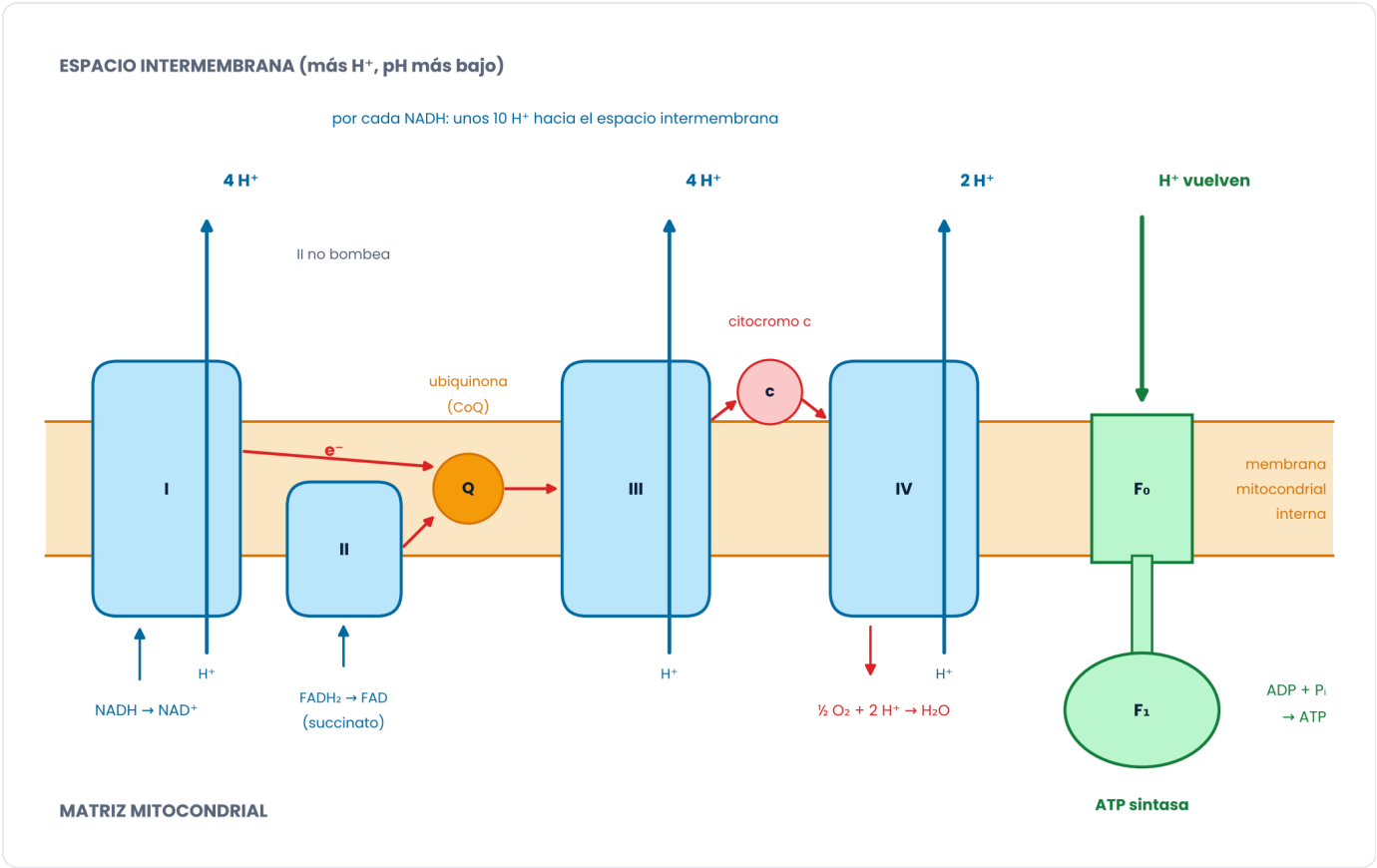
Respuesta modelo

En el ciclo de Krebs no interviene el O_2, pero cuatro de sus reacciones son oxidaciones que necesitan coenzimas oxidadas: tres usan **NAD^+** (que pasa a NADH) y una usa **FAD** (que pasa a $FADH_2$).

Esas coenzimas solo se reoxidan en la **cadena respiratoria**, cediendo sus electrones, y el **aceptor final** de la cadena es el **O_2**. Sin oxígeno la cadena se bloquea, el NADH y el $FADH_2$ se acumulan y el NAD^+ y el FAD se agotan en la matriz.

Sin NAD^+ ni FAD, las deshidrogenasas del ciclo no pueden actuar y el ciclo de Krebs **se detiene**. Por eso es una ruta **aerobia** aunque no consuma oxígeno.

Por qué puntúa. Lo que puntúa es la cadena causal completa: oxidaciones del ciclo → coenzimas reducidas → solo se reoxidan en la cadena → el O_2 es el aceptor final. Decir solo «porque necesita oxígeno» vale 0: La Rioja exige justificar siempre.



Cadena respiratoria y ATP sintasa en la membrana mitocondrial interna. Los electrones (rojo) van del NADH (complejo I) y del $FADH_2$ (complejo II) a la ubiquinona, al complejo III, al citocromo c y al complejo IV, que reduce el O_2 a agua. Los complejos I, III y IV bombean protones (azul) al espacio intermembrana; vuelven a la matriz por la ATP sintasa, que fabrica ATP. Cifras de H^+ por par de electrones según Lehninger.

6 β-oxidación de los ácidos grasos

Es la ruta de la que más **problemas numéricos** salen: Castilla y León, País Vasco, Asturias, Murcia, Cantabria y Andalucía la han pedido con cuentas.

- **Lipólisis**: las **lipasas** hidrolizan los **triacilglicéridos** del tejido adiposo en **glicerol** y **3 ácidos grasos**. El glicerol pasa a glicerol-3-fosfato y luego a dihidroxiacetona fosfato, y entra en la glucólisis (o en la gluconeogénesis, en el hígado).
- **Activación** (en la cara citosólica de la membrana mitocondrial externa): el ácido graso se une a la CoA y forma **acil-CoA**. Gasta **1 ATP, que pasa a AMP** (dos enlaces ricos en energía: cuenta como **2 ATP**). Aquí no se forma ni NADH ni $FADH_2$.
- **Entrada en la mitocondria** con la **lanzadera de la carnitina**: la membrana interna no deja pasar el acil-CoA; el acilo se pasa a la carnitina, cruza y dentro vuelve a la CoA (Asturias la ha preguntado).
- **Cada vuelta** (en la **matriz mitocondrial**) tiene cuatro reacciones: **oxidación** (FAD → $FADH_2$), **hidratación**, **oxidación** (NAD^+ → NADH) y **tiólisis**, que corta **un acetil-CoA** (2 C) y deja un acil-CoA con **2 carbonos menos**, que da otra vuelta.
- Para un ácido graso saturado de **n carbonos (n par)**: **n/2 − 1 vueltas**, **n/2 acetil-CoA**, **n/2 − 1 NADH** y **n/2 − 1 $FADH_2$**. Hay una vuelta menos que acetil-CoA porque la última vuelta parte un acil de 4 C en **dos** acetil-CoA.
- **Ácidos grasos de número impar** de carbonos: la última tiólisis deja **propionil-CoA** (3 C), que se convierte en **succinil-CoA** y entra en el Krebs. Un C17 da 7 vueltas, 7 acetil-CoA, 1 propionil-CoA, 7 NADH y 7 $FADH_2$ (País Vasco, 2025).
- Los ácidos grasos de **cadena muy larga** empiezan su β-oxidación en los **peroxisomas** (por eso Castilla y León acepta «matriz mitocondrial y peroxisomas»); en las plantas la β-oxidación ocurre en los peroxisomas (en las semillas oleaginosas que germinan, en los glioxisomas).

- Es **estrictamente aerobia**: necesita NAD^+ y FAD que solo devuelve la cadena respiratoria. Sin O_2 no hay β-oxidación (Madrid, 2026; País Vasco y Aragón con la gráfica de ácidos grasos y ATP).

CASTILLA Y LEÓN · PAU 2026 ORDINARIA · OPCIÓN 3.2.B (1,5 PUNTOS)

Respecto a la ruta de oxidación de los ácidos grasos:

a) ¿En qué compartimentos celulares tiene lugar? (0,5 puntos)

b) ¿Qué y cuántos productos se generan como resultado de la oxidación de un ácido graso saturado de 18 átomos de carbono? ¿Cuál es el destino metabólico de cada uno de estos productos? (1,0 puntos)

Apartado a)

1. La β-oxidación ocurre en la **matriz mitocondrial**. Antes, el ácido graso se activa a acil-CoA en el citosol (cara externa de la membrana mitocondrial externa) y entra en la matriz con la lanzadera de la carnitina.
2. Los ácidos grasos de cadena muy larga se acortan primero en los **peroxisomas**.

SOLUCIÓN En la **matriz mitocondrial** (y en los **peroxisomas** para los de cadena muy larga).

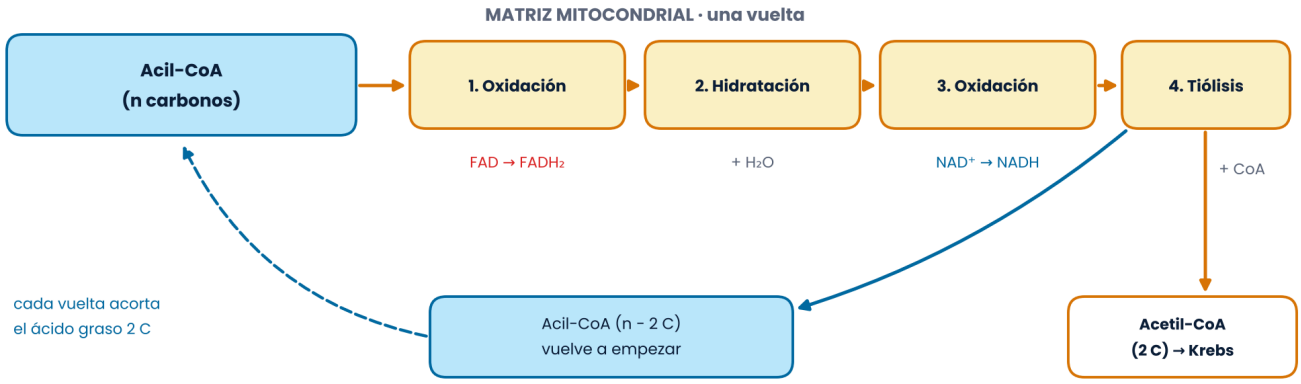
Apartado b)

1. C18, par y saturado: n = 18.
2. Vueltas: n/2 − 1 = 18/2 − 1 = **8 vueltas**.
3. Acetil-CoA: n/2 = **9** (la última vuelta parte el acil de 4 C en dos).
4. Cada vuelta da 1 NADH y 1 $FADH_2$: **8 NADH y 8 $FADH_2$**.
5. Destinos: el **acetil-CoA** entra en el **ciclo de Krebs** (matriz), donde se oxida a CO_2; el **NADH** y el **$FADH_2$** ceden sus electrones a la **cadena respiratoria** (crestas), que bombea protones, y la ATP sintasa forma ATP; el O_2 final se reduce a agua.

SOLUCIÓN **9 acetil-CoA, 8 NADH y 8 $FADH_2$.** Acetil-CoA → ciclo de Krebs; NADH y $FADH_2$ → cadena respiratoria y fosforilación oxidativa.

Lo que puntúa. La solución oficial: «a partir de un ácido graso de 18 átomos de carbono se obtienen 9 acetil CoA, 8 NADH y 8 FADH2. El destino metabólico del acetil CoA es el ciclo de Krebs y el del NADH y FADH2 ir a la cadena de transporte electrónico». En a) acepta matriz mitocondrial y peroxisomas.

Error típico que te quita puntos. Contar 9 vueltas (una por acetil-CoA) y dar 9 NADH y 9 $FADH_2$. Son n/2 − 1 = 8.



Ácido graso saturado	Vueltas (n/2 - 1)	Acetil-CoA (n/2)	NADH	$FADH_2$
n carbonos (par)	n/2 - 1	n/2	n/2 - 1	n/2 - 1
Palmítico (C16)	7	8	7	7
Esteárico (C18)	8	9	8	8

Una vuelta de β-oxidación y las fórmulas para contar. Cada vuelta da 1 $FADH_2$, 1 NADH y 1 acetil-CoA y acorta el acil-CoA dos carbonos. La tabla da el recuento para un ácido graso saturado de n carbonos y para el palmítico (C16) y el esteárico (C18).

7 La oxidación completa: sumar el ciclo de Krebs (y el catabolismo de las proteínas)

- Si el enunciado dice **«oxidación completa»** o **«respiración aerobia del ácido graso»**, a lo de la β-oxidación hay que **sumar el ciclo de Krebs** de cada acetil-CoA: **3 NADH, 1 $FADH_2$ y 1 GTP** por acetil-CoA.
- **C16 (palmítico)**: 7 + 24 = **31 NADH**, 7 + 8 = **15 $FADH_2$** y 8 GTP. **C18 (esteárico)**: 8 + 27 = **35 NADH**, 8 + 9 = **17 $FADH_2$** y 9 GTP.
- **En ATP** (restando los 2 de la activación): **palmítico 106 ATP** con los valores actuales (2,5 y 1,5) y **129** con los clásicos (3 y 2); **esteárico 120** y **146**.
- Por gramo, las grasas dan más del doble de energía que los glúcidos (unas 9 kcal frente a unas 4) porque sus carbonos están mucho más reducidos: por eso son la reserva energética de los animales y el combustible de los esfuerzos largos, como un maratón (País Vasco, 2026).
- **Catabolismo de las proteínas** (lo justo): los aminoácidos pierden el grupo amino por **transaminación** (lo pasan al α-cetoglutarato, que se convierte en glutamato; coenzima derivada de la vitamina B_6) y **desaminación oxidativa** del glutamato, que libera **amoníaco (NH_3/NH_4^+)**.
- El **amoníaco es tóxico**: el hígado lo convierte en **urea** en el **ciclo de la urea** y el riñón la elimina por la orina. Los esqueletos de carbono entran como piruvato, acetil-CoA o intermediarios del Krebs.
- Las proteínas se usan como combustible sobre todo en el **ayuno prolongado**, la **desnutrición** o con un **exceso de proteínas en la dieta** (no se almacenan): es lo que preguntó La Rioja en 2026 (ordinaria).

ASTURIAS · PAU 2025 EXTRAORDINARIA · PREGUNTA 4, OPCIÓN A

Dos gemelos adultos del mismo peso, 80 kg, y el mismo porcentaje de grasa corporal (PGC), 25%, deciden cambiar de hábitos, ya que el rango de normalidad de PGC para su edad es 10-15%. El primero (individuo A) siguió una dieta hipocalórica con ejercicio moderado durante 1 año, alcanzando un PGC de 14% y un peso de 72 kg. El segundo (individuo B) hizo entrenamiento de musculación y en un año bajó su PGC al 11%, aumentando su tejido muscular proteico, por lo que su peso no se modificó (80kg).

1) Indica cuál es la molécula más abundante de la grasa corporal, en qué compartimento de la célula se almacena y en qué consiste la primera reacción para su catabolismo. (1 punto)

2) En el caso del individuo A, indica cuál es la ruta catabólica responsable de la movilización de las reservas energéticas y el compartimento celular donde tiene lugar. (1 punto)

3) Indica cuántas moléculas de NADH y de FADH2 se generarán por la oxidación completa de una molécula un ácido graso saturado de 18 carbonos. Justifica tu respuesta. (0,5 puntos)

Apartado 1)

1. La grasa corporal es sobre todo **triacilglicéridos** (triglicéridos).
2. Se almacenan en el **citoplasma** (citosol) de los adipocitos, en gotas lipídicas.
3. Primera reacción: **hidrólisis** (lipólisis) por lipasas en **glicerol y tres ácidos grasos**.

SOLUCIÓN Triacilglicéridos; citosol; hidrólisis en glicerol + 3 ácidos grasos.

Apartado 2)

1. Con una dieta hipocalórica, el organismo moviliza la grasa: los ácidos grasos se degradan por **β-oxidación**.
2. Ocurre en la **matriz mitocondrial**. Los criterios dan solo 0,25 si se dice «mitocondria» sin precisar la matriz.

SOLUCIÓN β-oxidación de los ácidos grasos, en la matriz mitocondrial.

Apartado 3)

1. Activación: acil-CoA con gasto de 2 ATP; no forma NADH ni $FADH_2$.
2. β-oxidación de C18: 8 vueltas → **8 NADH y 8 $FADH_2$** y 9 acetil-CoA.
3. Ciclo de Krebs: 9 acetil-CoA × (3 NADH + 1 $FADH_2$) → **27 NADH y 9 $FADH_2$**.
4. Total: 8 + 27 = **35 NADH**; 8 + 9 = **17 $FADH_2$**.

SOLUCIÓN **35 NADH y 17 $FADH_2$** (más 9 GTP del ciclo de Krebs).

Lo que puntúa. Asturias puntúa el razonamiento por encima del número: «Si se describen bien los pasos y hay errores en alguno de los valores [...] se valorará igualmente con 0.5 puntos»; si se describe el proceso pero los valores están «muy alejados de los correctos», 0,25.

Error típico que te quita puntos. Quedarse en la β-oxidación (8 y 8) cuando se pide la oxidación completa, o copiar la errata del criterio (16 $FADH_2$).

Una errata en los criterios oficiales

En la solución de Asturias de 2025 (extraordinaria) se suma «8+8=16 moléculas de FADH2» para el C18. Es una errata: son 8 (β-oxidación) + 9 (Krebs) = **17 $FADH_2$**. Los propios criterios daban la puntuación entera si los pasos estaban bien aunque hubiera un error de cálculo.

8 Rendimiento energético: ¿36–38 o 30–32 ATP por glucosa?

Los números de ATP no son exactos: dependen de cuántos protones bombea la cadena, de cuántos necesita la ATP sintasa y de cómo entra en la mitocondria el NADH de la glucólisis, que no puede cruzar la membrana interna.

- El NADH del citosol entra «en forma de electrones» por **lanzaderas**: la del **malato-aspartato** (hígado, corazón) lo entrega como NADH a la matriz; la del **glicerol-3-fosfato** (músculo esquelético, cerebro) lo entrega como $FADH_2$, que rinde menos.
- **Valores clásicos** (3 ATP por NADH y 2 por $FADH_2$): **38 ATP** por glucosa (36 con la lanzadera del glicerol-fosfato).
- **Valores actuales** (Lehninger, Berg: unos 2,5 y 1,5): **32 ATP** (30 con la lanzadera del glicerol-fosfato). Los libros de bioquímica actuales dan **30–32** y dicen que la cifra de 36–38 está superada.
- **Fermentación**: **2 ATP** por glucosa, solo los de la glucólisis. La respiración rinde unas **15–19 veces más** por glucosa.
- **Cómo lo pide cada comunidad**: Andalucía y Extremadura comparan **sin balance exacto** («de forma cualitativa»); Galicia, con esquemas generales; **Aragón** da 30–32 en sus soluciones; **Madrid** y la **Comunitat Valenciana**, 32–38; **Castilla-La Mancha**, 36–38; **Cataluña** acepta cualquier valor entre **30 y 38**; **La Rioja** calcula **38** (3 por NADH, 2 por $FADH_2$). En el examen, **di qué valores usas** («con 2,5 ATP por NADH y 1,5 por $FADH_2$…») y cualquier cifra bien razonada vale.

Origen (por glucosa)	Moléculas	ATP clásicos (3 / 2)	ATP actuales (2,5 / 1,5)
Glucólisis: ATP directos	2 ATP	2	2
Glucólisis: NADH	2 NADH	6 (4 con glicerol-P)	5 (3 con glicerol-P)
Descarboxilación oxidativa	2 NADH	6	5
Krebs: GTP	2 GTP	2	2
Krebs: NADH	6 NADH	18	15
Krebs: $FADH_2$	2 $FADH_2$	4	3
Total respiración aerobia		**38 (36)**	**32 (30)**
Fermentación		**2**	**2**

Entre paréntesis, con la lanzadera del glicerol-3-fosfato. Los valores actuales, de Berg y col. (Biochemistry, 8.ª ed., tabla 18.4), que dan unos 30 ATP por glucosa en el músculo.

CASTILLA Y LEÓN · PAU 2025 EXTRAORDINARIA · OPCIÓN 3.2.B (1,5 PUNTOS)

Contestar a las siguientes cuestiones:

a) Nombrar las rutas metabólicas que experimentará una molécula de glucosa hasta que se convierta por completo en CO2 y H2O. Citar los compartimentos celulares por los que transcurren dichas rutas. (1,0 puntos)

b) ¿Cuántos NADH y FADH2 se producen en cada una de dichas rutas partiendo de una molécula de glucosa? (0,5 puntos)

Apartado a)

1. **Glucólisis**, en el **citosol**: glucosa → 2 piruvato.
2. **Descarboxilación oxidativa** del piruvato, en la **matriz mitocondrial**: 2 piruvato → 2 acetil-CoA + 2 CO_2.
3. **Ciclo de Krebs**, en la **matriz mitocondrial**: 2 acetil-CoA → 4 CO_2.
4. **Cadena respiratoria y fosforilación oxidativa**, en la **membrana mitocondrial interna** (crestas): los electrones llegan al O_2, que se reduce a H_2O.

SOLUCIÓN Glucólisis (citosol) → descarboxilación oxidativa y Krebs (matriz) → cadena respiratoria y fosforilación oxidativa (membrana interna, crestas).

Apartado b)

1. Glucólisis: **2 NADH**, 0 $FADH_2$.
2. Descarboxilación oxidativa: 1 NADH por piruvato → **2 NADH**.
3. Ciclo de Krebs: 3 NADH y 1 $FADH_2$ por vuelta, dos vueltas → **6 NADH y 2 $FADH_2$**.
4. En la cadena respiratoria no se producen: se **reoxidan** (NADH → NAD^+; $FADH_2$ → FAD).

SOLUCIÓN **2 + 2 + 6 = 10 NADH y 2 $FADH_2$** por glucosa.

Lo que puntúa. Los criterios de Castilla y León solo dicen que en Metabolismo «se valorará la precisión»: por eso conviene dar la localización exacta (matriz, crestas), no solo «mitocondria», y el recuento por ruta, no solo el total.

Error típico que te quita puntos. Decir que la cadena respiratoria «produce» NADH, o poner la glucólisis dentro de la mitocondria.

9 Sin oxígeno: fermentaciones y respiración anaerobia

- **Fermentación**: catabolismo **anaerobio** en el que la oxidación de la glucosa es **incompleta** y el **aceptor final de electrones es una molécula orgánica** (el piruvato o un derivado). Ocurre en el **citosol**, sin cadena respiratoria, y solo da el ATP de la glucólisis por **fosforilación a nivel de sustrato**: **2 ATP por glucosa**.
- Su **finalidad** es **regenerar NAD^+**: el NADH de la glucólisis cede sus electrones al piruvato (o al acetaldehído) para que la glucólisis no se pare (Asturias, 2025: «para qué se reduce el piruvato a lactato»).
- **Fermentación láctica**: la **lactato deshidrogenasa** reduce el piruvato a **lactato**.

$$\text{Glucosa} + 2\,\text{ADP} + 2\,\text{P}_\text{i} \rightarrow 2\,\text{lactato} + 2\,\text{ATP} + 2\,\text{H}_2\text{O}$$

  La hacen **bacterias lácticas** (yogur: *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*; quesos, aceitunas, chucrut) y el **músculo esquelético** en un esfuerzo intenso, cuando el O_2 no llega. El lactato vuelve al hígado, que hace glucosa (**ciclo de Cori**, Tema 14).
- **Fermentación alcohólica**: la **piruvato descarboxilasa** quita un CO_2 al piruvato (→ **acetaldehído**) y la **alcohol deshidrogenasa** lo reduce a **etanol**.

$$\text{Glucosa} + 2\,\text{ADP} + 2\,\text{P}_\text{i} \rightarrow 2\,\text{etanol} + 2\,\text{CO}_2 + 2\,\text{ATP} + 2\,\text{H}_2\text{O}$$

  La hacen **levaduras** (*Saccharomyces cerevisiae*): **pan** (el CO_2 hincha la masa, el etanol se evapora al hornear), **vino**, **cerveza**, **sidra**.
- Las levaduras son **anaerobias facultativas**: con O_2 respiran y crecen mucho; sin O_2 fermentan y consumen mucha más glucosa para obtener el mismo ATP. Si entra aire en el fermentador del vino, la levadura respira y no produce alcohol (Madrid, modelo 2027, que es lo que dan por bueno sus criterios). En la realidad, con mucho azúcar *S. cerevisiae* sigue fermentando en parte aunque haya O_2 (efecto Crabtree), y el aire favorece además a *Acetobacter*, que avinagra el vino.
- **Respiración anaerobia**: oxidación de la materia orgánica (a menudo completa, hasta CO_2) con **cadena de transporte de electrones**, pero el aceptor final es una sustancia **inorgánica distinta del O_2**: **nitrato** (bacterias desnitrificantes, que lo reducen a N_2), **sulfato** (bacterias sulfatorreductoras, que lo reducen a

H_2S). La hacen sobre todo algunos procariotas y rinde **más que una fermentación** y **menos que la aerobia** (Andalucía y Cantabria la piden).

- **La «fermentación acética» no es una fermentación**: *Acetobacter* **oxida** el etanol a ácido acético (vinagre) **con O_2** y una **cadena de transporte de electrones**; es una respiración aerobia incompleta (Cataluña, 2026).

Respiración aerobia

- Aceptor final: **O_2**
- Oxidación **completa** a CO_2 y H_2O
- Cadena respiratoria y ATP sintasa
- Citosol + mitocondria
- **30–38 ATP** por glucosa

Respiración anaerobia

sobre todo procariotas

- Aceptor final: **inorgánico ≠ O_2** (NO_3^-, SO_4^{2-}…)
- Oxidación a menudo completa (hasta CO_2)
- Cadena de transporte en la membrana plasmática
- Menos ATP que la aerobia

Fermentación

- Aceptor final: **molécula orgánica**
- Oxidación **incompleta** (lactato, etanol)
- Sin cadena: solo glucólisis
- Citosol
- **2 ATP** por glucosa

CATALUÑA · PAU 2026 EXTRAORDINARIA · EJERCICIO 2, APARTADO 2.3 (0,5 PUNTOS)

La levadura es un organismo anaerobio facultativo. En un cultivo de Saccharomyces cerevisiae se mide el consumo específico de glucosa por hora en las dos situaciones siguientes:

Condiciones aeróbicas (con O2). Consumo de glucosa: 1,09 mmol · g–1 · h–1. Condiciones anaeróbicas (sin O2). Consumo de glucosa: 17,4 mmol · g–1 · h–1.

a) ¿Cuántas veces es más elevado el consumo de glucosa en condiciones anaeróbicas que en condiciones aeróbicas? Proporcione una explicación metabólica del resultado. (0,5 puntos)

Apartado a)

1. Cociente: $17{,}4 \div 1{,}09 \approx 15{,}96$, unas **16 veces** más.
2. Con O_2 la levadura **respira**: oxida la glucosa por completo (glucólisis, Krebs, cadena respiratoria) y obtiene unos **30–32 ATP** (36–38 con los valores clásicos) por glucosa.
3. Sin O_2 **fermenta** (fermentación alcohólica): oxidación incompleta a etanol y CO_2 con solo **2 ATP** por glucosa.
4. Para obtener la misma cantidad de ATP por hora, sin O_2 tiene que degradar mucha más glucosa: 32 ÷ 2 = 16, justo el orden de magnitud medido (es el **efecto Pasteur**: el O_2 frena el consumo de glucosa).

SOLUCIÓN Unas **16 veces** más: la fermentación rinde 2 ATP por glucosa y la respiración unos 30–32, así que la levadura compensa consumiendo mucha más glucosa.

Lo que puntúa. Criterios: 0,1 por el cálculo (15,96), 0,1 por decir que con O_2 respira y sin O_2 fermenta, 0,2 por las cifras («La respiració genera 30-38 ATP/glucosa (qualsevol valor en aquesta forquilla serà considerat correcte)» frente a 2) y 0,1 por concluir que debe consumir más glucosa. Sin cifras de ATP, solo 0,1 de esos 0,2.

Error típico que te quita puntos. Decir que sin O_2 «crece más» o «trabaja más rápido» sin hablar del rendimiento por glucosa, o no dar las cifras de ATP.

Conceptos clave

Metabolismo

Conjunto de reacciones químicas de una célula, catalizadas por enzimas y organizadas en rutas, con las que obtiene energía y fabrica sus componentes.

Catabolismo

Parte del metabolismo que degrada y oxida moléculas complejas a otras más sencillas, liberando energía que se conserva en ATP y en coenzimas reducidas.

Anabolismo

Parte del metabolismo que sintetiza moléculas complejas a partir de otras sencillas mediante reducciones que consumen ATP y poder reductor (NADPH).

Ruta anfibólica

Ruta que participa a la vez en el catabolismo y en el anabolismo; el ejemplo es el ciclo de Krebs, cuyos intermediarios sirven de precursores biosintéticos.

Poder reductor (de las coenzimas)

Capacidad de ceder electrones que tienen las coenzimas reducidas (NADH, $FADH_2$, NADPH); el NADH y el $FADH_2$ la llevan a la cadena respiratoria y el NADPH al anabolismo.

Fosforilación a nivel de sustrato

Síntesis de ATP (o GTP) por transferencia directa de un grupo fosfato desde un metabolito al ADP, sin cadena de transporte de electrones; ocurre en la glucólisis y en el ciclo de Krebs.

Glucólisis

Ruta del citosol que oxida una glucosa a dos piruvatos, con una ganancia neta de 2 ATP y 2 NADH; no necesita oxígeno.

Descarboxilación oxidativa

Conversión del piruvato en acetil-CoA en la matriz mitocondrial por el complejo piruvato deshidrogenasa, con salida de CO_2 y formación de NADH.

Ciclo de Krebs

Ruta cíclica de la matriz mitocondrial que oxida el acetil-CoA a 2 CO_2 y produce, por vuelta, 3 NADH, 1 $FADH_2$ y 1 GTP; es la vía común del catabolismo.

Cadena respiratoria

Conjunto de complejos proteicos y transportadores de la membrana mitocondrial interna que llevan los electrones del NADH y del $FADH_2$ hasta el O_2 y bombean protones al espacio intermembrana.

Fosforilación oxidativa

Síntesis de ATP por la ATP sintasa gracias al regreso de los protones a la matriz a favor del gradiente creado por la cadena respiratoria.

Teoría quimiosmótica

Explicación de Peter Mitchell (1961): la energía del transporte de electrones crea un gradiente de protones a través de una membrana y ese gradiente impulsa la síntesis de ATP.

ATP sintasa

Complejo enzimático de la membrana (mitocondrial interna, tilacoidal o bacteriana) con una parte F_o que deja pasar los protones y una F_1 que une ADP y fosfato para formar ATP.

β-oxidación

Ruta de la matriz mitocondrial que degrada un acil-CoA en vueltas sucesivas; cada vuelta libera un acetil-CoA y produce 1 $FADH_2$ y 1 NADH.

Lanzadera de la carnitina

Sistema que introduce los acilos de los ácidos grasos en la matriz mitocondrial unidos a la carnitina, porque el acil-CoA no atraviesa la membrana interna.

Fermentación

Catabolismo anaerobio con oxidación incompleta de la glucosa en el que el aceptor final de electrones es una molécula orgánica; regenera NAD^+ y solo rinde 2 ATP por glucosa.

Fermentación láctica

Reducción del piruvato a lactato por la lactato deshidrogenasa; la hacen las bacterias lácticas y el músculo esquelético en anaerobiosis.

Fermentación alcohólica

Conversión del piruvato en etanol y CO_2 (piruvato descarboxilasa y alcohol deshidrogenasa); la hacen las levaduras como Saccharomyces cerevisiae.

Respiración anaerobia

Oxidación de la materia orgánica con cadena de transporte de electrones cuyo aceptor final es una sustancia inorgánica distinta del O_2, como el nitrato o el sulfato; la realizan sobre todo algunos procariotas.

Transaminación

Transferencia del grupo amino de un aminoácido a un α-cetoácido (normalmente el α-cetoglutarato), catalizada por aminotransferasas con piridoxal fosfato (vitamina B_6).

Quimioheterótrofo

Organismo que obtiene el carbono y la energía de la oxidación de compuestos orgánicos; por ejemplo, los animales, los hongos y la mayoría de las bacterias.

MODO PAU

Seis claves que valen puntos

Localiza con precisión

Glucólisis y fermentaciones: **citosol**. Descarboxilación, Krebs y β-oxidación: **matriz**. Cadena y ATP sintasa: **membrana interna (crestas)**. Decir solo «mitocondria» resta en Asturias, Cataluña o Galicia.

β-oxidación (n par)

n/2 − 1 vueltas, **n/2 acetil-CoA**, **n/2 − 1 NADH y $FADH_2$**. C18: 8 vueltas, 9 acetil-CoA, 8 NADH y 8 $FADH_2$.

«Oxidación completa»

Suma el **Krebs**: 3 NADH + 1 $FADH_2$ + 1 GTP por acetil-CoA. C18: **35 NADH y 17 $FADH_2$**.

ATP por glucosa

Fermentación **2**; respiración **30–32** (actual) o **36–38** (clásico). **Di qué valores usas**: 2,5 y 1,5 o 3 y 2 por NADH y $FADH_2$.

Para qué fermentar

Para **regenerar NAD^+** y que la glucólisis siga dando 2 ATP. El aceptor final es **orgánico** (piruvato o acetaldehído).

El O_2 y el Krebs

El O_2 es el **aceptor final de la cadena**; sin él no se regeneran NAD^+ ni FAD y **se paran Krebs y β-oxidación**, aunque no lo usen.

Cómo te lo pueden preguntar

- **Galicia (PAU 2026 ordinaria, 4.1.2):** «Indique en qué orden sucederían las siguientes reacciones metabólicas en una célula aerobia en presencia de oxígeno: oxidación del ácido pirúvico, fosforilación oxidativa, glucólisis, ciclo de Krebs. Indique en qué parte de la célula o del orgánulo implicado tienen lugar estas reacciones.»
- **La Rioja (PAU 2026 extraordinaria, 8.A.1):** «Explica cuál sería el impacto metabólico de una inhibición parcial de la ATP sintasa en una célula animal. (0,5 puntos)»
- **Cantabria (PAU 2025 extraordinaria, opción 9):** «a) De modo general, ¿En qué se caracteriza el catabolismo y qué productos se generan en el mismo? b) Explique los diferentes tipos de catabolismo según el aceptor final de electrones.»
- **Navarra (PAU 2026 ordinaria, 3.B):** «c) Cita tres diferencias entre el modo de obtener el ATP en la fermentación y en la respiración celular? (0,75 P).»
- **Canarias (PAU 2026 ordinaria, P4):** «d. En relación a los procesos metabólicos destinados a la producción de ATP, ¿son los mismos en ausencia o presencia de oxígeno? Razona la respuesta. [0,3 ptos.]»
- **Andalucía (PAU 2025 reserva 4, 2.1):** «c) Defina beta-oxidación de los ácidos grasos e indique un orgánulo de la célula eucariota, precisando la región concreta, donde tiene lugar [0,7]. El ácido caproico es un ácido graso de 6 átomos de carbono responsable del olor de las cabras. d) Indique cuántos ciclos de beta-oxidación requiere su degradación y cuántas moléculas de acetil-CoA se generan [0,4].»
- **La Rioja (PAU 2026 ordinaria, P7):** «b) ¿En qué situaciones el organismo recurre al catabolismo de las proteínas para obtener energía? (0,4 puntos) c) ¿Qué productos tóxicos procedentes del catabolismo de los aminoácidos pueden aparecer en el organismo? ¿Qué se debe hacer con estos compuestos? (0,2 puntos)»

- **Madrid (modelo 2027, 4.B):** «d) Indique qué consecuencia tendría la entrada accidental de aire en el fermentador durante el proceso de elaboración del vino. Razone brevemente qué proceso metabólico se vería favorecido en dichas condiciones y cuál sería la consecuencia (0,6 puntos).»

No lo confundas

- **Vueltas de β-oxidación ≠ acetil-CoA**: un C18 da 8 vueltas y 9 acetil-CoA (la última vuelta parte un C4 en dos).
- **Glucólisis ≠ respiración anaerobia**: la glucólisis es común a la respiración y a la fermentación; la respiración anaerobia usa una cadena de transporte con un aceptor inorgánico distinto del O_2.
- **Fermentación ≠ respiración anaerobia**: en la fermentación el aceptor final es orgánico y no hay cadena; en la respiración anaerobia hay cadena y el aceptor es inorgánico (nitrato, sulfato).
- **El ciclo de Krebs no consume O_2**, pero se para sin él. El O_2 solo aparece al final de la cadena respiratoria.
- **NADH/$FADH_2$ (catabolismo) ≠ NADPH (anabolismo)**: no intercambies NAD^+ y $NADP^+$ al hablar de la fotosíntesis o del Krebs.
- **Fosforilación oxidativa ≠ fosforilación a nivel de sustrato**: la primera usa el gradiente de protones y la ATP sintasa; la segunda, un metabolito con fosfato.
- **Espacio intermembrana ≠ matriz**: los protones se bombean hacia el espacio intermembrana y vuelven a la matriz por la ATP sintasa, cuya parte F_1 está en la matriz.
- **La «fermentación acética» es aerobia**: Acetobacter oxida el etanol con O_2 y cadena de transporte; no es una fermentación.

Ponte a prueba

País Vasco (PAU 2025 ordinaria, opción 4B): «La β-oxidación que se produce a partir de los ácidos grasos es un proceso metabólico importante para las células eucariotas. a) ¿Dirías que la β-oxidación es un proceso catabólico o anabólico? ¿En qué compartimento u orgánulo celular tiene lugar? (0,5 p.) b) A partir de un ácido graso saturado de 18 carbonos, ¿cuántas moléculas de acetil-coA se liberan después de la β-oxidación? ¿Cuántas de FADH2 y NADH? (1 p.) c) ¿Cuáles son los productos finales liberados de la oxidación de un ácido graso de 17 carbonos? (0,5 p.) d) ¿Cuál es el destino de las moléculas de acetil-coA liberadas después de la β-oxidación dentro de la respiración aeróbica de ácidos grasos? (0,5 p.)»

Solución: a) Es **catabólica**: degrada y oxida un ácido graso a acetil-CoA y produce coenzimas reducidas. Ocurre en la **matriz mitocondrial**. b) C18: 18/2 - 1 = 8 vueltas. Se liberan **9 acetil-CoA**, **8 $FADH_2$** y **8 NADH**. c) C17 (impar): 7 vueltas que dan **7 acetil-CoA**, **7 $FADH_2$** y **7 NADH**, y queda **1 propionil-CoA** (3 C), que se transforma en succinil-CoA y entra en el ciclo de Krebs. d) El acetil-CoA entra en el **ciclo de Krebs** (matriz), donde se oxida a **CO_2** y produce NADH, $FADH_2$ y GTP; el NADH y el $FADH_2$ van a la **cadena respiratoria**, que reduce el O_2 a agua y genera el gradiente de protones con el que la ATP sintasa forma ATP.

Murcia (PAU 2026 extraordinaria, opción 3.2): «En relación con la β-oxidación de los ácidos grasos: A) ¿Cuántos ciclos de oxidación son necesarios para oxidar completamente un ácido graso de 22 átomos de carbono? (0,2 p.) B) ¿Qué moléculas se obtienen por cada ciclo de oxidación y cuántas resultarán de la β-oxidación completa de dicho ácido graso? (0,6 p.) C) Indique las vías que seguirán estas moléculas obtenidas hasta completar la respiración aerobia del ácido graso y las moléculas finales (no tiene que especificar número) que se obtienen (1,2 p.).»

Solución: A) 22/2 - 1 = **10 ciclos**. B) En cada ciclo se obtienen **1 acetil-CoA, 1 NADH y 1 $FADH_2$** (y el acil-CoA se acorta dos carbonos). En total: **11 acetil-CoA, 10 NADH y 10 $FADH_2$** (la última vuelta da dos acetil-CoA). C) Los **acetil-CoA** entran en el **ciclo de Krebs** en la matriz mitocondrial: se oxidan a **CO_2** y producen NADH, $FADH_2$ y GTP. Todo el **NADH** y el **$FADH_2$** cede sus electrones a la **cadena respiratoria** de la membrana mitocondrial interna; el aceptor final es el **O_2**, que se reduce a **H_2O**, y el gradiente de protones permite a la **ATP sintasa** formar **ATP** (fosforilación oxidativa). Moléculas finales: **CO_2, H_2O y ATP**.

Madrid (PAU 2026 extraordinaria, 5.B): «a) Indique las diferencias entre los organismos fotoautótrofos y quimioheterótrofos según sus fuentes de carbono y energía (0,4 puntos). b) Teniendo en cuenta que los organismos quimioheterótrofos pueden nutrirse de glucosa y ácidos grasos, razone brevemente cómo afectaría la falta de oxígeno al metabolismo de estos dos nutrientes (0,8 puntos). c) Indique a qué vías metabólicas corresponden las siguientes reacciones generales (0,6 puntos): 1. Acetil-CoA + NAD+ + FAD + GDP + Pi + H2O → CoA + NADH + FADH2 + GTP + CO2; 2. H2O + CO2 + luz → Glucosa + O2; 3. NADH + FADH2 + O2 → NAD+ + FAD + H2O. d) Indique en qué orgánulo y, dentro del mismo, en qué compartimento ocurre el ciclo de Calvin (0,2 puntos).»

Solución: a) Los **fotoautótrofos** toman el carbono del **CO_2** y la energía de la **luz**; los **quimioheterótrofos** obtienen el carbono y la energía de la **oxidación de compuestos orgánicos**. b) Sin O_2 no funciona la **cadena respiratoria**, que es la que regenera el NAD^+ y el FAD. La **glucosa** solo podría oxidarse **parcialmente** por glucólisis y **fermentación** (por ejemplo, láctica), con solo 2 ATP por glucosa. Los **ácidos grasos no podrían degradarse**: la β-oxidación necesita NAD^+ y FAD y no tiene alternativa fermentativa. c) 1 = **ciclo de Krebs**; 2 = **fotosíntesis**; 3 = **cadena respiratoria** (cadena de transporte de electrones mitocondrial). d) En el **estroma** de los **cloroplastos** (Tema 14).

Aragón (PAU 2026 ordinaria, P2): «En un experimento se utilizan tres matraces con diferentes componentes celulares (ver la tabla). Todos están en medio isoosmótico, con pH óptimo, y se les añade glucosa. Se mide el consumo de oxígeno y la glucosa residual. [Tabla: matraz CitOrg con citoplasma, mitocondrias y el resto de orgánulos; matraz Mit solo con mitocondrias; matraz Cit con citoplasma y el resto de orgánulos, sin mitocondrias.] a) En el matraz CitOrg disminuye el O2 con el tiempo, mientras que en el matraz Mit permanece constante. Al finalizar el experimento, se mide la glucosa y se observa que en el matraz CitOrg ha desaparecido, mientras que en el matraz Mit la cantidad inicial no se ha modificado ¿A qué puede deberse este resultado? Explique razonadamente qué rutas metabólicas se han producido (o no) en cada caso. (0,6 puntos). b) Al finalizar el experimento en el matraz Cit la glucosa ha desaparecido. ¿Cómo habrá evolucionado la concentración de oxígeno? Razone su hipótesis para los cambios de glucosa y oxígeno (0,3 puntos). c) Ordene los matraces 'CitOrg', 'Mit' y 'Cit', de mayor a menor cantidad de ATP al final del proceso. Justifique su respuesta (0,4 puntos).»

Solución: a) En **CitOrg** hay citosol y mitocondrias: la **glucólisis** (citosol) convierte la glucosa en piruvato, que entra en las mitocondrias, donde se hacen la descarboxilación oxidativa, el **ciclo de Krebs** y la **cadena respiratoria**, que **consume O_2** como aceptor final: respiración completa. En **Mit** solo hay mitocondrias: las mitocondrias **no pueden usar glucosa** (la glucólisis es citosólica), no les llega piruvato, no funciona la cadena y **no se consume O_2**. b) En **Cit** la glucosa se degrada por **glucólisis** y, sin mitocondrias, por **fermentación**; no hay cadena respiratoria, así que el **O_2 se mantiene constante**. c) **CitOrg > Cit > Mit**: respiración completa, unos 30–32 ATP por glucosa; solo glucólisis, 2 ATP por glucosa; nada, porque no hay sustrato que puedan usar las mitocondrias.

Andalucía (PAU 2025 reserva 4, 2.2): «La fermentación y la respiración celular son dos procesos metabólicos fundamentales para la obtención de energía. Compare ambas vías considerando los siguientes aspectos: a) ¿Cuál es la principal diferencia entre el aceptor final de electrones en la fermentación y en la respiración celular? [0,4]. b) ¿Cómo influye esta diferencia en el rendimiento energético de cada proceso? Razone su respuesta [0,4].»

Solución: a) En la **fermentación** el aceptor final es una **molécula orgánica** que procede de la propia glucosa (el piruvato en la láctica, el acetaldehído en la alcohólica). En la **respiración aerobia** es el **O_2** (en la anaerobia, una sustancia inorgánica como el nitrato o el sulfato). b) En la fermentación los electrones del NADH vuelven a una molécula orgánica: la glucosa **no se oxida por completo** (queda energía en el lactato o el etanol) y no hay cadena de transporte; solo se forman los **2 ATP** de la glucólisis por fosforilación a nivel de sustrato. En la respiración, los electrones bajan por la cadena respiratoria hasta el O_2, que es un aceptor muy oxidante; la energía liberada bombea protones y la ATP sintasa forma mucho más ATP: la glucosa se oxida por completo a CO_2 y H_2O y el rendimiento es **mucho mayor** (unos 30–32 ATP por glucosa). Andalucía no exige el balance exacto.

Cantabria (PAU 2025 ordinaria, opción 8): «En la asimilación catabólica de las grasas, el último paso consiste en la β-oxidación de los ácidos grasos. Explique el proceso anterior y escriba la reacción global de la β-oxidación del ácido palmítico cuya fórmula química es CH3-(CH2)14-COOH. No es necesario aportar el balance energético global.»

Solución: La **β-oxidación** degrada los ácidos grasos en la **matriz mitocondrial**. El ácido graso se activa a acil-CoA (gasto de ATP) y entra en la matriz con la carnitina. Cada vuelta tiene cuatro pasos (oxidación con FAD, hidratación, oxidación con NAD^+ y tiólisis con CoA) y separa un **acetil-CoA**, acortando la cadena dos carbonos; el número de vueltas es n/2 - 1. El palmítico tiene **16 C**: **7 vueltas** y **8 acetil-CoA**. Reacción global (desde el palmitoil-CoA):

$$\text{Palmitoil-CoA} + 7\,\text{FAD} + 7\,\text{NAD}^+ + 7\,\text{CoA} + 7\,\text{H}_2\text{O} \rightarrow 8\,\text{acetil-CoA} + 7\,\text{FADH}_2 + 7\,\text{NADH} + 7\,\text{H}^+$$

Los criterios dan 0,5 por la explicación y 0,75 por la reacción global.

Fuentes

1. Berg, Tymoczko, Gatto y Stryer, *Biochemistry*, 8.ª ed. (W. H. Freeman, 2015), cap. 18, tabla 18.4 «ATP yield from the complete oxidation of glucose»
2. Berg, Tymoczko, Gatto y Stryer, *Biochemistry*, 8.ª ed., sección 18.6 «The regulation of cellular respiration»
3. Berg, Tymoczko y Stryer, *Biochemistry*, 5.ª ed. (W. H. Freeman, 2002), NCBI Bookshelf: caps. 16 (glucólisis), 17 (ciclo del ácido cítrico), 18 (fosforilación oxidativa) y 22 (metabolismo de los ácidos grasos)
4. Alberts y col., *Molecular Biology of the Cell*, 4.ª ed. (Garland, 2002), NCBI Bookshelf: cap. 2 «How cells obtain energy from food» y cap. 14 «Energy conversion: mitochondria and chloroplasts»
5. Lodish y col., *Molecular Cell Biology*, 4.ª ed. (W. H. Freeman, 2000), NCBI Bookshelf: cap. 16 «Cellular energetics: glycolysis, aerobic oxidation, and photosynthesis»
6. Nelson y Cox, *Lehninger. Principles of Biochemistry*, 8.ª ed. (W. H. Freeman / Macmillan Learning, 2021), caps. 14, 16, 17, 18 y 19
7. The Nobel Prize in Chemistry 1978: Peter Mitchell (teoría quimiosmótica), nobelprize.org
8. Universidad de Salamanca (PAU de Castilla y León): examen y criterios de Biología, junio de 2026
9. Universidad de Oviedo (PAU de Asturias): examen y criterios de Biología, convocatoria extraordinaria de 2025
10. Generalitat de Catalunya, Oficina d'Accés a la Universitat: criterios de Biología, PAU 2026 extraordinaria
11. Universidad Complutense de Madrid (PAU de Madrid): modelo de examen y criterios de Biología 2027

Imágenes: Esquema propio: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia a partir de Nelson y Cox (Lehninger, 8.ª ed.) y Berg, Tymoczko, Gatto y Stryer (Biochemistry, 8.ª ed.) · Dos mitocondrias: Louisa Howard (dominio público, Wikimedia Commons) · Esquema propio: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia a partir de Nelson y Cox (Lehninger, 8.ª ed.) y Berg, Tymoczko, Gatto y Stryer (Biochemistry, 8.ª ed.) · Esquema propio: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia a partir de Nelson y Cox (Lehninger, 8.ª ed.) y Berg, Tymoczko, Gatto y Stryer (Biochemistry, 8.ª ed.)

Apuntes de Farmeando PAU · farmeandopau.com · Revisados frente a fuentes. Última revisión: 9 de noviembre de 2026. Licencia CC BY-NC-ND 4.0: puedes copiarlo y compartirlo citándonos, sin uso comercial ni cambios (las imágenes, con su propia licencia). ¿Un error? Avísanos desde la página del tema. Cómo los hacemos: farmeandopau.com/metodologia.