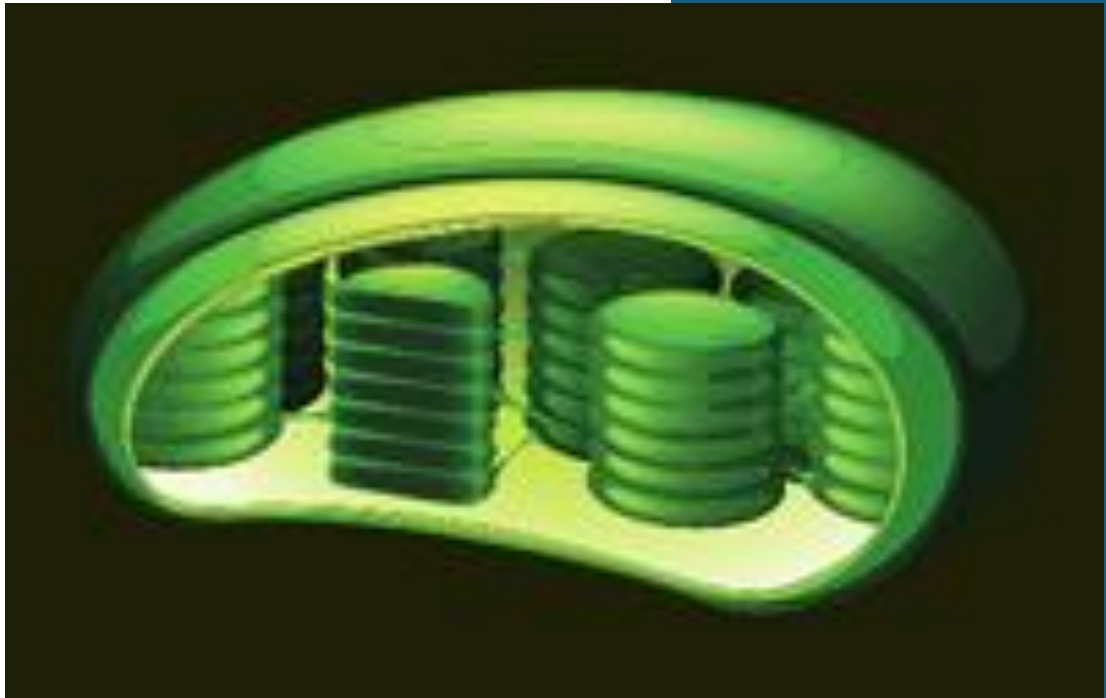


PAU 2026

Tema 10. Metabolismo II. Anabolismo



1. La nutrición

2. El anabolismo.

3. Fotosíntesis.

3.1. Fase lumínica.

3.2. Fotosíntesis bacteriana.

3.3. Fase oscura.

3.4. Fotorrespiración y plantas C4

3.5. Factores que influyen en la fotosíntesis.

4. Quimiosíntesis.

5. Biosíntesis de polisacáridos.

6. Gluconeogénesis.

7. Biosíntesis de lípidos.

8. Biosíntesis de compuestos nitrogenados

AUTOEVALUACIÓN

TEMA 10. METABOLISMO II.

ANABOLISMO

1. LA NUTRICIÓN

La nutrición celular comprende el conjunto de procesos mediante los cuales las células intercambian materia y energía con su entorno para mantener su actividad vital. Atendiendo a la fuente de carbono y a la fuente de energía utilizadas, los organismos se clasifican en:

Según la fuente de Carbono:

- Autótrofos: Utilizan carbono inorgánico (CO_2) para sintetizar sus moléculas orgánicas.
- Heterótrofos: Requieren moléculas orgánicas preformadas como fuente de carbono.

Según la fuente de Energía:

- Fotótrofos: Utilizan la energía lumínica.
- Quimiótrofos: Obtienen la energía de la oxidación de compuestos químicos.

La combinación de ambos criterios define los grandes grupos tróficos (ej. fotoautótrofos como las plantas, quimioheterótrofos como los animales).

2. EL ANABOLISMO

El anabolismo es la vía constructiva del metabolismo. Consiste en la síntesis de moléculas orgánicas complejas a partir de moléculas más simples. Bioquímicamente, se caracteriza por ser un proceso endergónico (consume energía, fundamentalmente en forma de ATP) y reductor (requiere poder reductor, generalmente aportado por el NADPH o NADH, para formar nuevos enlaces ricos en energía).

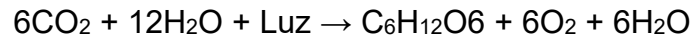
Distinguimos dos grandes tipos de anabolismo:

1. Anabolismo autótrofo: Síntesis de materia orgánica sencilla a partir de materia inorgánica (CO_2 , H_2O , NO_3^-). Exclusivo de organismos autótrofos. Comprende la fotosíntesis y la quimiosíntesis.

2. Anabolismo heterótrofo: Síntesis de macromoléculas complejas (glucógeno, triglicéridos, proteínas) a partir de precursores orgánicos sencillos (glucosa, ácidos grasos, aminoácidos). Es común a todos los seres vivos.

3. LA FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis oxigénica es un proceso anabólico fotoautótrofo mediante el cual la energía luminosa se transforma en energía química (ATP) y poder reductor (NADPH), utilizándose ambos para reducir el CO₂ y sintetizar glúcidos. La ecuación global es:



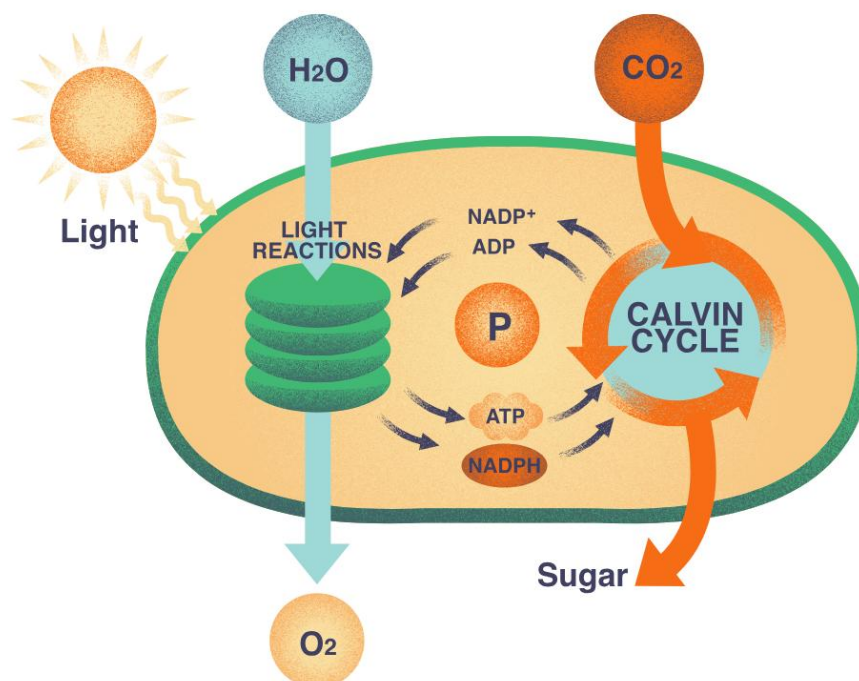
3.1 FASE LUMÍNICA (FOTOQUÍMICA)

Localización: Membrana de los tilacoides de los cloroplastos.

Su objetivo es captar la luz para generar ATP y NADPH. Intervienen los fotosistemas (complejos proteína-pigmento antena y un centro de reacción). Existen dos modalidades:

1. Fotofosforilación acíclica: Intervienen el Fotosistema II (PSII, P680) y el Fotosistema I (PSI, P700).

- La luz excita el PSII, que cede electrones a una cadena de transporte. Los electrones perdidos por el PSII se reponen mediante la fotólisis del agua ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + 1/2 \text{O}_2$). El O₂ se libera como subproducto.
- El flujo de electrones a través del complejo citocromo b6-f bombea protones al interior del tilacoide, generando un gradiente que la ATP-sintasa utiliza para sintetizar ATP (Hipótesis quimiosmótica).
- Los electrones llegan al PSI, que al ser excitado por la luz los transfiere a la enzima NADP-reductasa, reduciendo el NADP⁺ a NADPH.



2. Fotofosforilación cíclica: Interviene exclusivamente el PSI.

- Los electrones excitados del P700 regresan al complejo citocromo b6-f en lugar de ir al NADP⁺.
- Solo se genera ATP (no hay fotólisis del agua, ni liberación de O₂, ni formación de NADPH).
- Finalidad: Compensar el déficit de ATP, ya que la fase oscura consume más ATP que NADPH.

3.2 FOTOSÍNTESIS BACTERIANA (ANOXIGÉNICA)

Realizada por bacterias purpúreas y verdes.

- Utilizan un solo tipo de fotosistema.
- El dador de electrones no es el agua, sino compuestos como el sulfuro de hidrógeno (H₂S).
- No se libera oxígeno molecular; en su lugar se depositan gránulos de azufre.

3.3 FASE OSCURA (CICLO DE CALVIN)

Localización: Estroma del cloroplasto.

No requiere luz directamente, pero depende del ATP y NADPH producidos en la fase lumínica.

Consta de **tres etapas**:

1. Fijación (Carboxilación): La enzima Rubisco (Ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa) fija el CO₂ a la Ribulosa-1,5-bisfosfato (RuBP, 5C), originando dos moléculas de Ácido 3-Fosfoglicérico (PGA, 3C).

2. Reducción: El PGA se reduce a Gliceraldehído-3-fosfato (G3P) consumiendo ATP y NADPH. Parte de este G3P sale del ciclo para la síntesis neta de glucosa u otras moléculas orgánicas.

3. Regeneración: El G3P restante experimenta reordenamientos para regenerar la RuBP (consumiendo más ATP) y permitir que el ciclo continúe. Balance: Para sintetizar 1 molécula de glucosa se requiere fijar 6 CO₂, consumiendo 18 ATP y 12 NADPH.

3.4 FOTORRESPIRACIÓN Y PLANTAS C4

La enzima Rubisco tiene un defecto evolutivo: además de actividad carboxilasa, posee actividad oxigenasa. En ambientes cálidos y secos, los estomas se cierran para evitar la pérdida de agua, lo que disminuye drásticamente la concentración de CO₂ interno y eleva la de O₂ (producto de la fase lumínica).

La Rubisco comienza a fijar O₂ a la RuBP en un proceso llamado fotorrespiración, que no produce ATP ni NADPH, y pierde carbono fijado, reduciendo el rendimiento fotosintético hasta en un 50%.

Adaptación

- **Plantas C4** (ej. maíz, caña de azúcar): Separan espacialmente la fijación de CO₂ del Ciclo de Calvin:
- **Células del mesófilo**: Fijan el CO₂ usando la enzima PEP-carboxilasa (que no tiene afinidad por el O₂) sobre el Fosfoenolpiruvato, formando un compuesto de 4 carbonos (Oxalacetato/Malato).
- **Células de la vaina del haz**: El compuesto C4 es transportado aquí y descarboxilado, liberando CO₂ localmente. Esto satura a la Rubisco de CO₂ aislando el ciclo de Calvin del oxígeno, evitando así la fotorrespiración.

3.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FOTOSÍNTESIS

- Intensidad luminosa: Aumenta la tasa fotosintética hasta alcanzar un punto de saturación lumínica.
- Concentración de CO₂: Actúa como factor limitante; su incremento aumenta el rendimiento hasta la saturación de la Rubisco.
- Concentración de O₂: Altas concentraciones disminuyen el rendimiento debido al inicio de la fotorrespiración (Efecto Warburg).
- Temperatura: Presenta una curva de campana con un óptimo enzimático. Temperaturas extremas desnaturalizan enzimas o aumentan la fotorrespiración.
- Humedad / Disponibilidad hídrica: El déficit hídrico provoca el cierre estomático, lo que impide la entrada de CO₂ y detiene el proceso.

4. QUIMIOSÍNTESIS

Es la **síntesis de materia orgánica a partir de materia inorgánica** utilizando la energía liberada en reacciones exergónicas de oxidación de compuestos inorgánicos reducidos (ej. NH₃, H₂S, Fe²⁺).

Es un proceso exclusivo de ciertos grupos de bacterias. Consta de dos fases:

1. Primera fase: Oxidación del sustrato inorgánico. Parte de la energía liberada se acopla a la síntesis de ATP (fosforilación a nivel de sustrato o cadena de transporte) y otra parte genera poder reductor (NADH).

2. Segunda fase: Fijación del CO₂ y reducción a materia orgánica mediante el Ciclo de Calvin, utilizando el ATP y NADH generados. Importancia ecológica: Son fundamentales en el cierre de los ciclos biogeoquímicos. Ejemplos críticos son las bacterias nitrificantes (Nitrosomonas y Nitrobacter), que transforman el amonio del suelo en nitratos asimilables por las plantas.

5. BIOSÍNTESIS DE POLISACÁRIDOS

Es un proceso de **anabolismo heterótrofo**. Requiere que los monosacáridos sean activados previamente mediante su unión a un nucleótido trifosfato (generalmente UTP, formando UDP-glucosa o ADP-glucosa).

- **Glucogenogénesis:** Síntesis de glucógeno en animales (principalmente hígado y músculo esquelético). La enzima Glucógeno sintasa añade unidades de glucosa mediante enlaces $\alpha(1 \rightarrow 4)$, y una enzima ramificante crea enlaces $\alpha(1 \rightarrow 6)$.
- **Amilogénesis:** Síntesis de almidón en los plastos de las células vegetales a partir de ADP-glucosa.

6. GLUCONEOGÉNESIS

Es la **síntesis de glucosa a partir de precursores no glucídicos** (ej. piruvato, lactato, glicerol y esqueletos carbonados de aminoácidos glucogénicos). Ocurre principalmente en el **citosol** (y matriz mitocondrial) de las células hepáticas.

Nota competencial crítica: La gluconeogénesis no es la glucólisis inversa. Aunque comparten 7 enzimas reversibles, la glucólisis tiene **3 reacciones irreversibles** que la gluconeogénesis debe sortear mediante 4 enzimas exclusivas (los "rodeos" metabólicos):

1. Paso de Piruvato a Fosfoenolpiruvato (requiere entrar a la mitocondria y pasar por oxalacetato, usando Piruvato carboxilasa y PEP-carboxiquinasa).

2. Desfosforilación de la Fructosa-1,6-bisfosfato por la Fructosa-1,6-bisfosfatasa.

3. Desfosforilación de la Glucosa-6-fosfato por la Glucosa-6-fosfatasa (solo presente en hígado y corteza renal, permitiendo que la glucosa libre salga a la sangre). Es un proceso energéticamente muy costoso (consume 6 equivalentes de ATP/GTP por molécula de glucosa sintetizada).

7. BIOSÍNTESIS DE LÍPIDOS (LIPOGÉNESIS)

Se centra en la síntesis de ácidos grasos y su esterificación a triglicéridos.

1. Síntesis de ácidos grasos:

Localización: Citosol.

Precursor: Acetil-CoA (que debe salir de la mitocondria al citosol mediante la lanzadera de citrato).

Proceso: El Acetil-CoA se carboxila a Malonil-CoA. El complejo multienzimático Ácido Graso Sintasa (FAS) va añadiendo sucesivas unidades de 2 carbonos en un proceso cíclico que requiere gran cantidad de poder reductor (NADPH, proveniente de la ruta de las pentosas fosfato) y ATP. Finaliza cuando se alcanza una cadena de 16 carbonos (Ácido Palmítico).

2. Síntesis de triglicéridos:

El glicerol se activa a glicerol-3-fosfato.

Tres ácidos grasos se activan a Acil-CoA y se esterifican secuencialmente con el glicerol -3 - fosfato en el retículo endoplasmático liso.

8. BIOSÍNTESIS DE COMPUESTOS NITROGENADOS

La asimilación de nitrógeno inorgánico (NO_3^- , NH_4^+) a orgánico es propia de autótrofos. Los animales dependen de aminoácidos dietéticos, aunque pueden sintetizar los denominados "no esenciales".

1. Biosíntesis de aminoácidos: El esqueleto carbonado proviene de intermediarios de la glucólisis o del ciclo de Krebs (ej. α -cetoglutarato, oxalacetato). El grupo amino se incorpora mediante dos mecanismos:

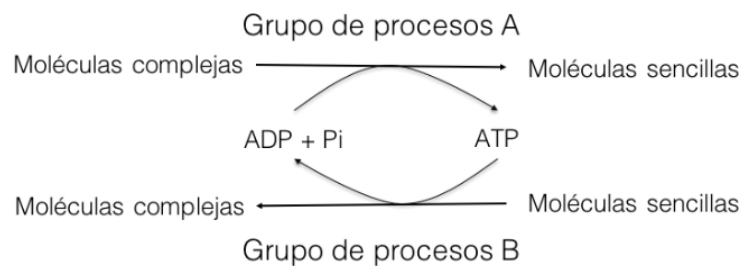
- **Aminación reductora:** El α -cetoglutarato incorpora amonio libre (NH_4^+) para formar glutamato, consumiendo NADPH.
- **Transaminación:** Un aminoácido donador (frecuentemente glutamato) cede su grupo amino a un α -cetoácido para formar un nuevo aminoácido. Es catalizado por las transaminasas.

2. Biosíntesis de nucleótidos: Son procesos complejos y de alto gasto energético. Se basan en la unión de anillos nitrogenados (sintetizados a partir de aminoácidos como aspartato, glutamina y glicina) con una pentosa activada, el Fosforribosil Pirofosfato (PRPP). Las purinas se ensamblan directamente sobre el anillo de ribosa, mientras que las pirimidinas forman el anillo libre antes de unirse a la pentosa.

Preguntas competenciales PAU - 2026

PREGUNTA COMPETENCIAL 1

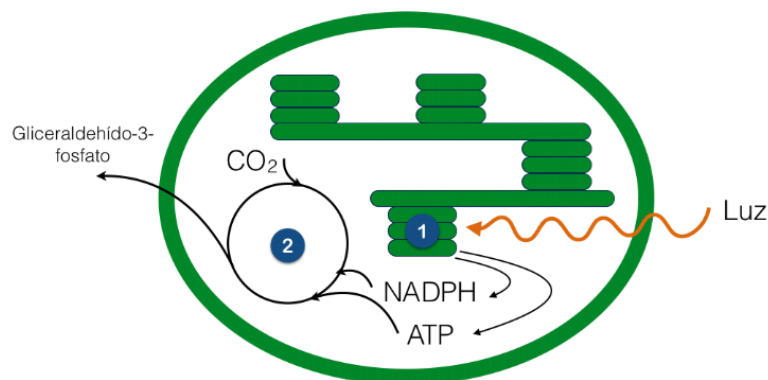
En relación con el esquema adjunto, conteste las siguientes cuestiones: a) ¿Qué nombre recibe el grupo de procesos A? ¿Y el grupo de procesos B? Definir ambos procesos. ¿Qué nombre recibe el conjunto de todos esos procesos? b) ¿Qué es el ATP? ¿Qué papel desempeña en estos procesos? Cita un proceso biológico en el que se obtenga ATP y otro en el que se gaste c) ¿Cuál es la composición de un nucleótido?



PREGUNTA COMPETENCIAL 2

A la vista de la imagen, conteste las siguientes cuestiones:

- ¿Qué proceso biológico se representa en la figura?
- ¿En qué orgánulo se realiza?
- ¿Qué tipo de células lo llevan a cabo?
- ¿Cuál es la función del agua en este proceso y en qué se transforma?
- Describa brevemente qué ocurre en las fases señaladas con los números 1 y 2
- Expresa mediante una ecuación global el proceso llevado a cabo en este orgánulo.



PREGUNTA COMPETENCIAL 3

En una célula vegetal:

- a) ¿Dónde se desprende oxígeno y cuál es la razón por la que se desprende?
- b) ¿Dónde se consume oxígeno y cuál es la razón de que se consuma?
- c) ¿A qué molécula se debe el color verde de los vegetales? ¿Dónde se sitúa? ¿Qué papel desempeña esta molécula?
- d) ¿Dónde se consume CO₂? ¿Cuál es la razón por la que se consume?

PREGUNTA COMPETENCIAL 4

En un cultivo de células eucarióticas animales y vegetales se introduce un inhibidor de la actividad de los ribosomas 70S.

- a) ¿Podrán las células animales sintetizar proteínas?
- b) ¿Y las células vegetales?
- c) ¿Podrán las células animales realizar la respiración celular?
- d) ¿Y las células vegetales?
- e) ¿Podrán realizar las células vegetales la fotosíntesis? Razone todas las respuestas.

PREGUNTA COMPETENCIAL 5

Un investigador observa que la actividad fotosintética es dos veces mayor cuando a las plantas cultivadas se les aumenta la temperatura de 25°C a 45°C. Sin embargo, encuentra que temperaturas por encima de 55°C disminuyen drásticamente dicha actividad. Dé una explicación razonada a estos hechos.

PREGUNTA COMPETENCIAL 6

¿Qué productos se obtienen en la fase luminosa de la fotosíntesis? Especifique el lugar concreto dentro de la célula y del orgánulo en los que se obtienen estos productos. ¿En qué procesos se utilizan estos compuestos? ¿Para qué sirve la radiación solar en esta fase de la fotosíntesis?

RESPUESTAS DE LAS PREGUNTAS COMPETENCIALES

RESPUESTA COMPETENCIAL 1

a) Grupo A: Recibe el nombre de Catabolismo. Es la vía degradativa del metabolismo en la que moléculas complejas se transforman en moléculas más sencillas, liberando energía (proceso exergónico). Grupo B: Recibe el nombre de Anabolismo. Es la vía constructiva, en la que se sintetizan moléculas orgánicas complejas a partir de moléculas más simples, consumiendo energía (proceso endergónico).

El conjunto de todos estos procesos (A + B) fuertemente acoplados recibe el nombre de Metabolismo celular.

b) ATP: Es el Adenosín Trifosfato. Papel: Desempeña la función de "moneda energética" de la célula. Almacena la energía liberada en el catabolismo en sus enlaces fosfoanhídrido de alta energía y la transfiere para impulsar las reacciones endergónicas del anabolismo.

Obtención de ATP: En la fosforilación oxidativa (respiración celular) o en la fase lumínica de la fotosíntesis. Gasto de ATP: En la fase oscura de la fotosíntesis (Ciclo de Calvin), en la síntesis de proteínas o en el transporte activo a través de membranas.

c) Composición de un nucleótido: Está formado por la unión covalente de tres componentes una pentosa (ribosa o desoxirribosa), una base nitrogenada (púrica o pirimidínica) y uno o varios grupos fosfato.

RESPUESTA COMPETENCIAL 2

a) Proceso biológico: La fotosíntesis oxigénica.

b) Orgánulo: El cloroplasto.

c) Células que lo llevan a cabo: Células eucariotas vegetales (y algas), que son organismos fotoautótrofos.

d) Función del agua: Actúa como dador primario de electrones. Mediante la fotólisis del agua, esta molécula se rompe y se transforma en oxígeno molecular (O_2) que se libera, protones (H^+) que contribuyen al gradiente electroquímico, y electrones (e^-) que reponen los que ha perdido el Fotosistema II al ser excitado por la luz.

e) Fase 1: Fase lumínica (en la membrana del tilacoide). La energía luminosa es captada por los fotosistemas, impulsando un transporte de electrones que genera poder reductor (NADPH) y establece un gradiente de protones utilizado por la ATP-sintasa para producir ATP.

Fase 2: Fase oscura o Ciclo de Calvin (en el estroma). Se utiliza la energía (ATP) y el poder reductor (NADPH) generados en la fase 1 para fijar el CO_2 inorgánico y reducirlo hasta formar gliceraldehído-3-fosfato (materia orgánica). f) Ecuación global: $6CO_2 + 12H_2O + Luz \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$

RESPUESTA COMPETENCIAL 3

a) Desprendimiento de O_2 : Se desprende en el interior del tilacoide (cloroplasto). La razón es la fotólisis del agua durante la fase lumínica de la fotosíntesis, necesaria para ceder electrones al fotosistema II. b) Consumo de O_2 : Se consume en la matriz/membrana mitocondrial interna. La razón es que actúa como el aceptor final de electrones en la cadena respiratoria durante la fosforilación oxidativa (respiración celular aerobia), formando agua. (Nota competencial: Es crucial recordar que las plantas también respiran continuamente para obtener ATP).

c) Molécula verde: La clorofila. Situación: En la membrana de los tilacoides, formando parte de los complejos antena y centros de reacción de los fotosistemas. Papel: Captar/absorber los fotones de luz visible y transformar la energía luminosa en energía de excitación electrónica iniciando la fase fotoquímica.

d) Consumo de CO_2 : En el estroma del cloroplasto. Se consume al ser fijado por la enzima Rubisco sobre la ribulosa-1,5-bisfosfato durante el inicio del Ciclo de Calvin (fase oscura) para sintetizar glúcidos.

RESPUESTA COMPETENCIAL 4

Nota: Esta pregunta evalúa la capacidad del alumno para relacionar la síntesis de proteínas con el origen bacteriano de los orgánulos energéticos.

- a) Síntesis de proteínas (animales): Sí, a nivel citosólico podrán seguir sintetizando la mayoría de sus proteínas, ya que los ribosomas libres y los del retículo endoplasmático rugoso en eucariotas son de tipo 80S, por lo que no se verán afectados por el inhibidor.
- b) Síntesis de proteínas (vegetales): Sí, por la misma razón que las animales (sus ribosomas citosólicos son 80S).
- c) Respiración celular (animales): A corto plazo sí, pero a medio/largo plazo NO. Las mitocondrias poseen ribosomas propios de tipo 70S (herencia de su origen endosimbiótico bacteriano). El inhibidor bloqueará la síntesis de proteínas mitocondriales esenciales para la cadena de transporte de electrones, colapsando finalmente la respiración aerobia.
- d) Respiración celular (vegetales): A medio/largo plazo NO, por la misma razón: sus mitocondrias tienen ribosomas 70S que quedarán inhibidos.
- e) Fotosíntesis (vegetales): A medio/largo plazo NO. Los cloroplastos, al igual que las mitocondrias, poseen ribosomas 70S de origen bacteriano. Si se inhiben, no podrán sintetizar proteínas clave que se codifican en el genoma del plasto (como la proteína D1 del fotosistema II o la subunidad grande de la enzima Rubisco), deteniendo inevitablemente la fotosíntesis.

RESPUESTA COMPETENCIAL 5

La fotosíntesis no es un proceso puramente fotoquímico; la fase oscura (y partes de la lumínica) depende intrínsecamente de reacciones catalizadas por enzimas (como la Rubisco, la ATP - sintasa, etc.).

El aumento inicial de la actividad al pasar de 25°C a 45°C se debe a que el incremento de temperatura aumenta la energía cinética de las moléculas. Hay mayor probabilidad de choques eficaces entre las enzimas y los sustratos, acelerando la velocidad de la reacción (acercándose a la temperatura óptima de las enzimas de esta planta en particular). Sin embargo, al superar los 55°C, la extrema agitación térmica rompe los enlaces débiles (puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals) que mantienen la estructura tridimensional (terciaria/cuaternaria) de las proteínas. Las enzimas se desnaturalizan, perdiendo su centro activo y su funcionalidad biológica, lo que provoca que la actividad fotosintética disminuya drásticamente hasta detenerse. Además, a altas temperaturas, la actividad oxigenasa de la Rubisco (fotorrespiración) se dispara frente a la carboxilasa, reduciendo drásticamente el rendimiento fotosintético neto.

RESPUESTA COMPETENCIAL 6

Productos obtenidos: Se obtienen ATP (energía química), NADPH (poder reductor) y O₂ (como subproducto de desecho).

- Lugar concreto: Estos procesos ocurren en las membranas de los tilacoides que se encuentran en el interior de los cloroplastos de las células vegetales (mesófilo foliar).

- Utilización de compuestos: El ATP y el NADPH migran al estroma del cloroplasto, donde se utilizarán de forma acoplada en el Ciclo de Calvin (fase oscura) para la reducción y fijación del CO_2 inorgánico, sintetizando moléculas orgánicas (como el Gliceraldehído-3- fosfato). El O_2 se libera al medio o se usa en las mitocondrias celulares para la respiración.
- Función de la radiación solar: Los fotones de la luz solar impactan contra los pigmentos fotosintéticos (clorofilas) de los fotosistemas, provocando la excitación y pérdida de electrones en su centro de reacción. Esto inicia el flujo de electrones a lo largo de la cadena de transporte tilacoidal, que es el verdadero motor responsable de la síntesis de ATP y NADPH.