



# RESPIRACIÓN CELULAR

### Importancia biológica

1. Es la fuente de  $\text{CO}_2$  natural, necesario para el proceso fotosintético.
2. Es un proceso que permite la transformación de la energía química en energía mecánica.

### Definición

Es un proceso catabólico de tipo exergónico donde la energía química de enlace es transformada en energía mecánica o calórica.

### Tipos

Hay dos tipos: respiración aeróbica y respiración anaeróbica.

### Respiración anaeróbica

1. Organismos: bacterias y hongos del grupo de las levaduras.
2. Ubicación: citosol celular.

### A. Glucólisis

La glucólisis es una secuencia compleja de reacciones que se efectúan en el citosol de una célula mediante las cuales una molécula de glucosa se desdobra en dos moléculas de ácido pirúvico (piruvato), este desdoblamiento produce una pequeña ganancia de energía de dos moléculas de ATP y dos moléculas transportadoras de electrones (e hidrogeniones)  $\text{NADH}_2$ . La glucólisis en forma energética comprende tres procesos secuenciales: activación, oxidación y fosforilación, hasta convertirse en ácido pirúvico.

En las activaciones de la glucosa, en una molécula, ocurre en dos reacciones de catalización enzimática, cada una de ellas utiliza energía de ATP. Estas reacciones convierten una molécula relativamente estable de glucosa en una molécula muy reactiva de fructosa 1,6 difosfato (FDP). Formar FDP le cuesta a la célula dos ATP, pero su consumo inicial de energía es necesario para producir mucho mayor energía al final.

Otro proceso es la transformación de PGAL hacia ácido pirúvico, dos electrones de alta energía

y un hidrogenion se agregan al transportador de electrones vacío  $\text{NAD}^+$  para formar el transportador energizado  $\text{NADH}_2$ , se produce dos moléculas de PGAL por cada molécula de glucosa, de tal manera que se forman dos transportadores  $\text{NADH}_2$ .

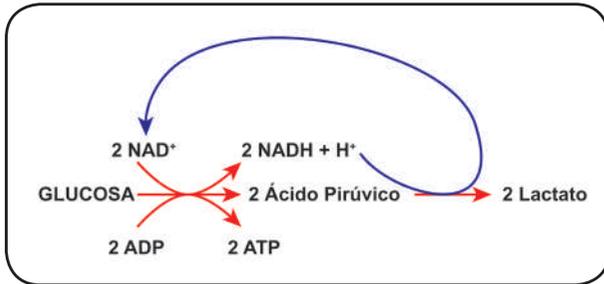
En los pasos para producir energía, las dos moléculas de PGAL pasan por una serie de reacciones que terminan por producir dos moléculas de ácido pirúvico, cada una a partir de PGAL. Dos de estas reacciones están asociadas a las síntesis de ATP, generan dos moléculas de ATP por cada PGAL, para un total de cuatro ATP. Debido a que se utilizan dos moléculas de ATP para activar a la glucosa en el primer proceso, hay una ganancia neta de sólo dos ATP por cada molécula de glucosa.

### B. Fermentación

Los electrones transportados en el  $\text{NADH}_2$  son altamente energéticos, pero su energía la utiliza para formar ATP sólo cuando hay oxígeno disponible. Muchos organismos (especialmente microorganismos) sobreviven en los intestinos de los animales, en el suelo profundo, en sedimentos que se encuentran bajo los lagos y océanos, o en pantanos donde el oxígeno esté casi o totalmente ausente. En condiciones anaeróbicas la producción de  $\text{NADH}_2$  no es método de captura de energía. De hecho es una forma de deshacerse de los hidrogeniones y de los electrones producidos durante el metabolismo de la glucosa en ácido pirúvico. Pero este método representa un problema para la célula por que el  $\text{NAD}^+$  se utiliza como si aceptor de electrones e iones hidrógeno para formar  $\text{NADH}_2$ . Sin una forma de regenerar el  $\text{NAD}^+$  y para deshacerse de los electrones e iones de hidrógeno, la glucólisis tendría que detenerse una vez que se hubiera agotado la concentración de  $\text{NAD}^+$ .

La fermentación soluciona este problema al permitir que el piruvato actúe como el aceptor final de electrones y de iones hidrógeno a partir de  $\text{NADH}_2$ .

Así el  $\text{NAD}^+$  se regenera para su uso en la glucólisis posterior. Hay dos tipos principales de fermentación; una convierte el piruvato en ácido láctico (lactato) y la otra en dióxido de carbono y etanol.



## Respiración aeróbica

### I. Definición:

Proceso realizado por los organismos aeróbicos, es decir, utilizan oxígeno molecular ( $\text{O}_2$ ) durante su metabolismo, obteniendo energía ( $E^\circ$ ) para satisfacer sus requerimientos energéticos en cada actividad que realice el organismo. Se lleva a cabo en el citosol y mitocondria.

### II. Etapas:

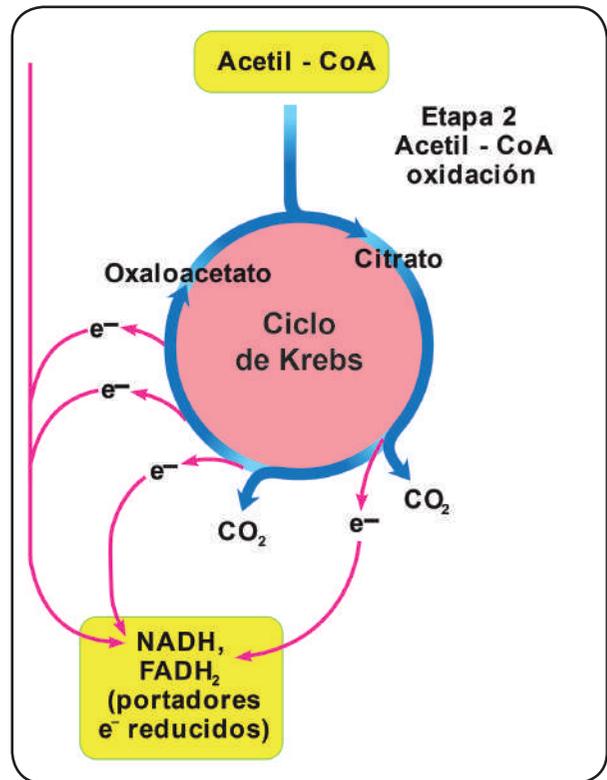
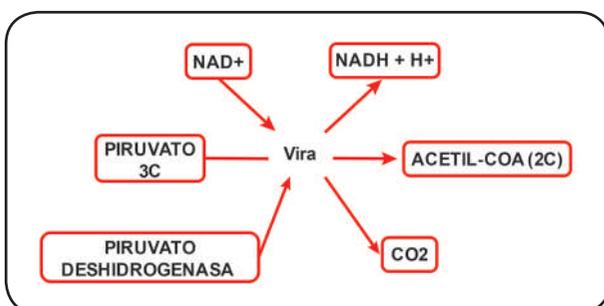
La respiración aeróbica, se cumple en tres etapas:

- Glucólisis (citosólica)
- Ciclo de Krebs (mitocondria)
- Cadena respiratoria (mitocondria)

#### A. Glucólisis: (Citosólica)

Hay que considerar que el organismo para realizar esta etapa, inicialmente se abastece de alimentos, fundamentalmente de glúcidos (disacáridos o polisacáridos), los cuales son hidrolizados a monosacáridos, a nivel del tubo digestivo mediante una batería de enzimas.

Posteriormente, serán absorbidos y transportados por la sangre para llegar a cada una de las células. La glucosa, ya en citoplasma será transformada en condiciones anaeróbicas (glucólisis), en Piruvatos.



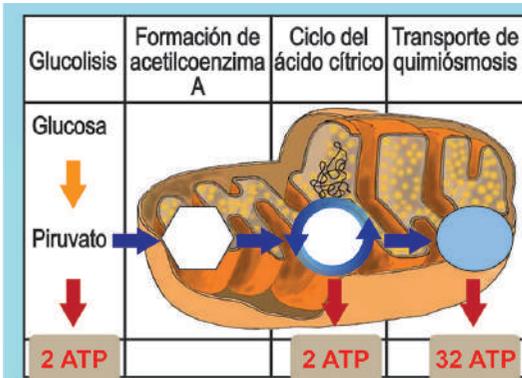
### B. Ciclo de Krebs:

(Ciclo del ácido cítrico o de los ácidos tricarbóxicos). Consiste en una serie de reacciones cíclicas que ocurre en la matriz mitocondrial, iniciándose con el ingreso del piruvato a través de la membrana mitocondrial, deshidrogenándose (pierde H), luego se descarboxila (pierde  $\text{CO}_2$ ) y se asocia con la coenzima A (Co-A), para quedar como Acetil coenzima A. Bajo esta condición ingresa al circuito de reacciones uniéndose con el oxalacetato (OA), para retornar nuevamente a esta molécula, tras 8 reacciones previas, en las cuales se pierde  $\text{CO}_2$  y se libera  $8\text{H}^+$ . También existe la síntesis de energía: Guanosín trifosfato (GTP).

### C. Cadena respiratoria:

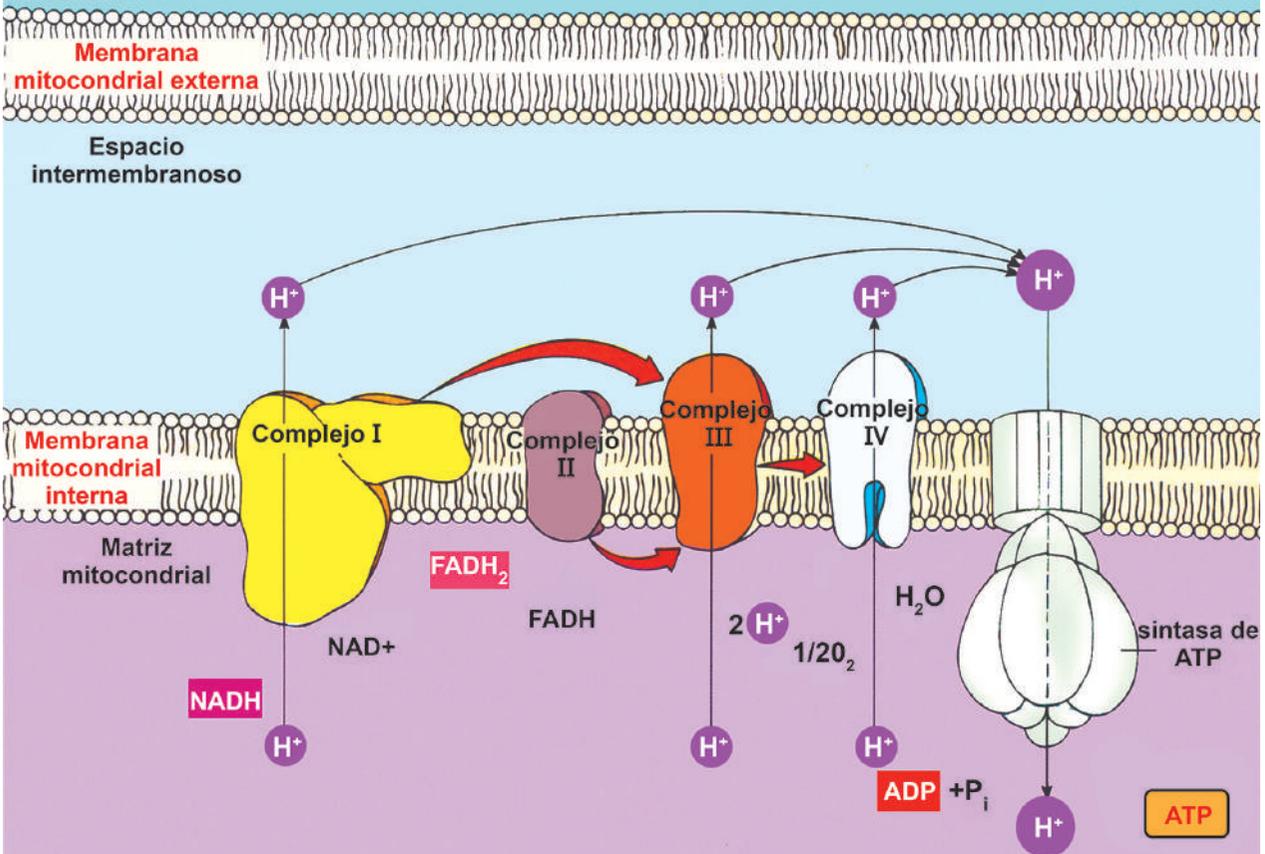
Está formada por una serie de transportadores de electrones ( $e^-$ ), situados en la cara interna de las crestas mitocondriales, cuya finalidad es transferir  $e^-$  procedentes de la oxidación del piruvato, hasta llegar al oxígeno molecular ( $\text{O}_2$ ), para luego formar moléculas de agua.

Los transportadores de « $e^-$ », que intervienen en esta cadena respiratoria, son las enzimas deshidrogenasas asociadas a la coenzima  $\text{NAD}^+$ , a la coenzima  $\text{FAD}^+$ , coenzima Q o ubiquinona y los citocromos (b, c, a). Todo



## Etapa mitocondrial

Citosol



## Advertencia pre

- Los productos de la fermentación de las proteínas y aminoácidos suelen ser orgánicos y malolientes, como el indol y la cadaverina, que dan el olor a los cadáveres.
- Las mitocondrias poseen los ribosomas más pequeños del tipo 5S S.
- A las mitocondrias se les conocía con el nombre de condriomitos.

esta acoplado a la síntesis de ATP.

Toda cadena respiratoria que comience por el NAD<sup>+</sup> conlleva a sintetizar 3 moléculas de ATP, pero si empezara por el FAD<sup>+</sup>, se consiguen sólo 2 moléculas de ATP. (El rendimiento energético del NADP<sup>+</sup> es semejante al producido por el NAD<sup>+</sup>.)

### A. Cadena transportadora electrónica

Estructura proteica que se encuentra en la cresta mitocondrial cuya función es transferir los electrones de las moléculas reducidas (NADH<sub>2</sub> y FADH<sub>2</sub>) hacia el oxígeno, que al unirse con el hidrógeno forma una molécula de agua.

Está formado por 4 complejos enzimáticos que

son:

**Complejo I:** NADH<sub>2</sub> a ubiquinona (UQ).- También llamado complejo NADH<sub>2</sub> deshidrogenasa, es un enorme complejo de flavoproteína que contiene más de 25 cadenas polipeptídicas. La totalidad del complejo está incrustada en la membrana mitocondrial interna y éste está orientado de modo que su sitio de fijación de NADH<sub>2</sub> mira hacia la matriz para poder interactuar con el NADH<sub>2</sub> producido por cualquiera de las diversas deshidrogenasas de la matriz.

El flujo de electrones a través del complejo I a la ubiquinona y al complejo III va acompañado del movimiento de protones desde la matriz mitocondrial al lado exterior (citoplásmico) de la membrana mitocondrial interna (espacio intermembrana).

**Complejo II:** succinato a ubiquinona (UQ).- Denominado también succinato deshidrogenasa, es la única enzima del ciclo del ácido cítrico ligada a la membrana; aunque más pequeña y más sencilla que el Complejo I, conteniendo proteínas con una FAD unido covalentemente y un centro Fe-S.

El glicerol liberado en la degradación de los triacilgliceroles se fosforila convirtiéndose seguidamente en dihidroxiacetona fosfato por la glicerol - 3 - fosfato deshidrogenasa, esta enzima es una flavoproteína localizada en la cara externa de la membrana mitocondrial interna y, al igual que la succinato deshidrogenasa y la acetil-CoA deshidrogenasa, canaliza electrones hacia la cadena respiratoria reduciendo la ubiquinona. Más adelante se describe el importante papel de la glicerol - 3 - fosfato deshidrogenasa como lanzadera de equivalentes de reducción desde el NADH<sub>2</sub> citoplásmico a la matriz mitocondrial.

**Complejo III:** ubiquinona a citocromo C u oxidorreductasa.- Contiene Citocromo b, Citocromo C1 y una proteína ferro-sulfurada. Funciona como una bomba de protones; debido a la orientación asimétrica del complejo, los protones producidos cuando se oxida el UQH<sub>2</sub> a UQ se liberan al espacio intermembrana produciendo una diferencia de concentración de protones transmembrana, es decir, un gradiente de protones. Este gradiente de protones es importante para la síntesis mitocondrial de

ATP.

**Complejo IV:** reducción del O<sub>2</sub>.- También llamado Citocromo oxidasa, contiene citocromos «a». El flujo de electrones desde el citocromo C al O<sub>2</sub> a través del complejo IV produce un movimiento neto de protones desde la matriz al espacio intermembrana; el complejo IV funciona como una bomba de protones que contribuye a la fuerza protón - motriz.

Estos complejos proteicos que forman la cadena transportadora electrónica se relacionan en la cresta mitocondrial de la siguiente manera:

## B. Fosforilación oxidativa

Es un proceso acoplado al transporte de electrones, en la que se sintetiza ATP a partir de ADP y Pi (fosfato inorgánico) con gasto de energía catalizada por la enzima ATPasa en la cresta mitocondrial.

La energía electroquímica inherente en esta diferencia de concentración de protones y de separación de carga, la fuerza protón-motriz, representa una conservación de parte de la energía de oxidación. La fuerza protón - motriz se utiliza posteriormente para impulsar la síntesis de ATP catalizada por la proteína F1 a medida que los protones fluyen pasivamente de nuevo hacia la matriz a través de los poros de protones formados por la proteína Fo.

## Balance energético aeróbico

Debemos considerar a todas las moléculas de ATP formadas y las moléculas transportadoras formadas en los diversos procesos:

2 ATP (glucólisis)	2 ATP
2 GTP (ciclo de Krebs)	2 ATP
8 NADH <sub>2</sub> (Cadena respiratoria)	24 ATP
2 FADH <sub>2</sub> (Cadena respiratoria)	4 ATP
	<hr/>
	32 ATP

2 NADH<sub>2</sub> (citoplásmico de la glucólisis):

\* 2NADH<sub>2</sub> por lanzadera glicerol -3-fosfato 4 ATP

\* 2 NADH<sub>2</sub> por lanzadera malato-aspartato 6 ATP

Como se observa se pueden resultar 36 ó 38 moléculas de ATP, dependiendo del sistema de lanzaderas que

## Retroalimentación

1. Se llama también respiración celular aeróbica:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. ¿Dónde se realiza el Ciclo de Krebs?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3. ¿De qué molécula proviene el Acetil Coenzima A?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

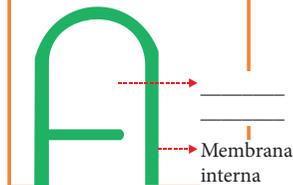
4. ¿Cuáles son los productos del Ciclo de Krebs?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Trabajando en clase

La respiración celular tiene una fase citosólica y otra \_\_\_\_\_ (a nivel de la matriz y a nivel de la membrana interna).



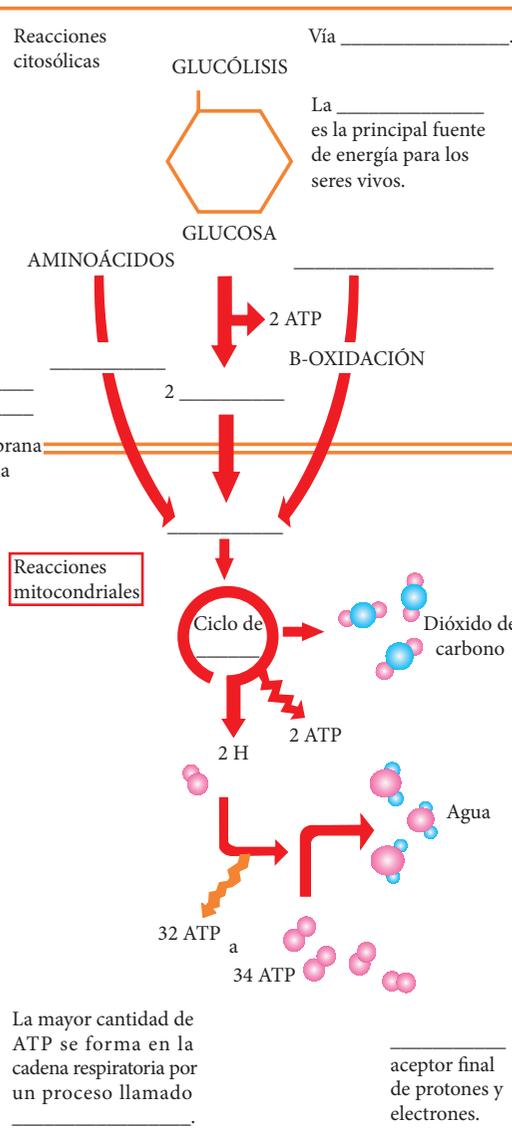
Membrana interna

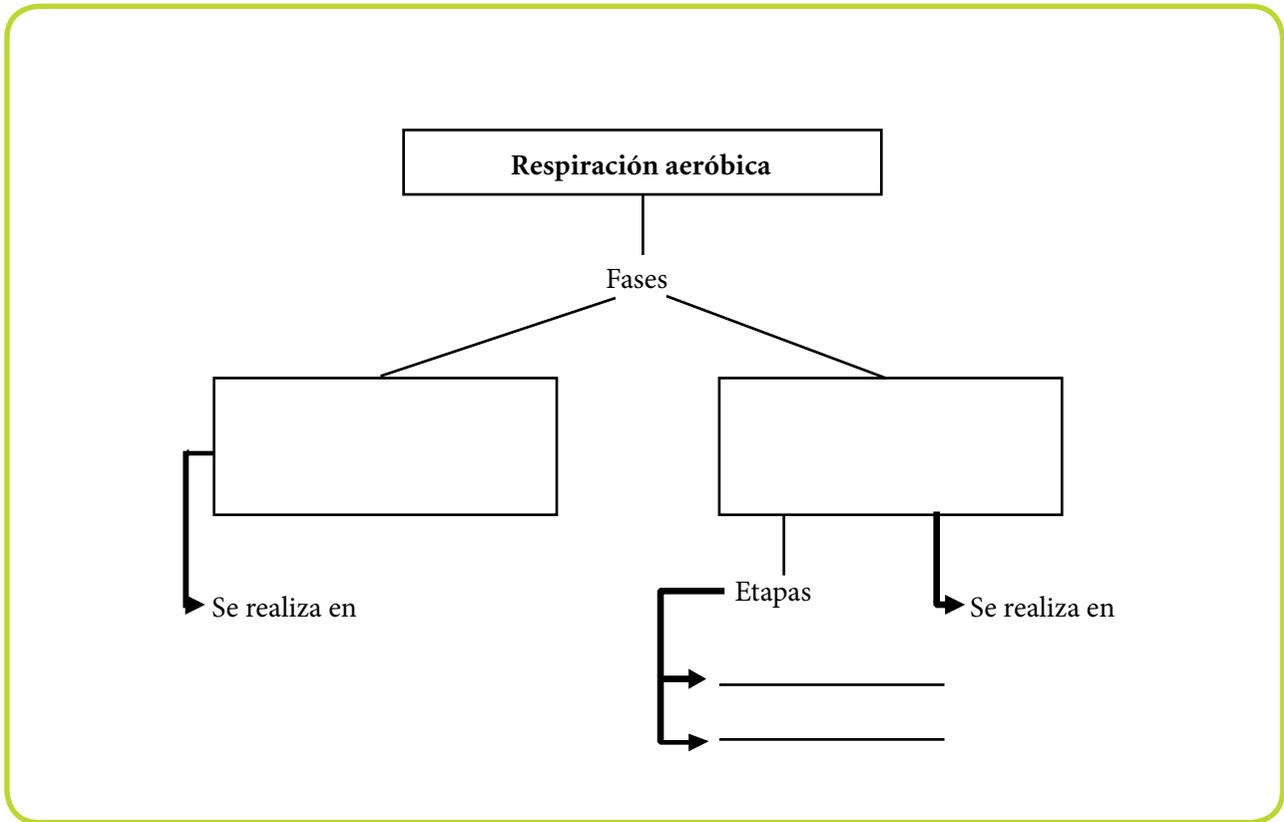


Organela doble membrana:



Los seres vivos requieren energía para realizar sus actividades. Dicha energía la obtienen a partir de un proceso de oxidación de los nutrientes denominado \_\_\_\_\_.





## Verificando el aprendizaje

- Sobre la respiración celular marca la alternativa falsa:

  - En eucariontes el Ciclo de Krebs se da en las crestas mitocondriales.
  - Requiere de oxígeno en la vía anaeróbica.
  - En la fosforilación oxidativa se produce ATP.
  - A y B.
  - A y C.
- Señale V o F respecto a la RESPIRACIÓN CELULAR:

Es una reacción exergónica.

Se realiza en el citosol y mitocondrias cuando requiere  $O_2$ .

Sintetiza moléculas complejas.

Lo realizan tanto procariontes como eucariontes.

a) V, V, F, V	d) V, F, V, F
b) V, V, V, F	e) F V, F, V
c) V, V, V, V	
- Respecto a la respiración celular aeróbica señalar la alternativa correcta:

  - Propio de los organismos menos evolucionados como algas pequeñas, protozoarios y hongos.
  - No utiliza  $O_2$ .
  - Es poco energética: 1 molécula de glucosa 2 ATP.
  - Tiene procesos sencillos como glucólisis y fermentación.
  - A y D.
- Lahexoquinasa, glucosa fosfato isomerasa, 6-fosfofructoquinasa, gliceraldehído - 3 - fosfato deshidrogenasa, fructosa difosfatoaldolasa y fosfogliceromutasa, son enzimas que participan en:

  - Fotosíntesis
  - Ciclo de Krebs
  - Glucólisis
  - Cadena respiratoria
  - Formación de ATP
- El Ciclo de Krebs origina todo lo siguiente, excepto:

  - $CO_2$
  - $FADH_2$
  - Ácido Cítrico
  - $NADH_2$
  - $H_2O$

6. El Ciclo de Krebs se inicia con la unión de acetil CoA con \_\_\_\_\_ para formar \_\_\_\_\_.
- a) succinato – succinilCoA  
 b) oxalacetato – citrato  
 c) malato – citrato  
 d) citrato – isocitrato  
 e) fumarato – malato
7. Sabemos que en la respiración aeróbica se forman \_\_\_\_\_ ATP a partir de 2 piruvatos.
- a) 38 c) 3 e) 30  
 b) 15 d) 18
8. La fermentación alcohólica es un proceso que lo realizan las levaduras, las cuales son empleadas en las industrias de la cerveza, ron, whisky; este proceso se realiza a nivel de:
- a) cloroplasto  
 b) cresta mitocondrial  
 c) membrana interna mitocondrial  
 d) matriz mitocondrial  
 e) citosol
9. La siguiente ecuación representa a:
- $$1 \text{ glucosa} + 2 \text{ NAD}^+ + 2 \text{ ADP} + 2 \text{ Pi} \rightarrow 2 \text{ Piruvato} + 2 \text{ NADH}_2 + 2 \text{ ATP}$$
- a) Fermentación alcohólica  
 b) Fermentación láctica  
 c) Fosforilación oxidativa  
 d) Glucólisis  
 e) Cadena respiratoria
10. Toda cadena respiratoria que comience por el NAD<sup>+</sup> conlleva a sintetizar \_\_\_\_\_ de ATP; pero si empezara por el FAD<sup>+</sup> se consiguen sólo \_\_\_\_\_ de ATP.
- a) 5 moléculas – 3 moléculas  
 b) 2 moléculas – 3 moléculas  
 c) 1 molécula – 2 moléculas  
 d) 3 moléculas – 2 moléculas  
 e) 3 moléculas – 5 moléculas