

#09

BIO -
ENERGÉTICA

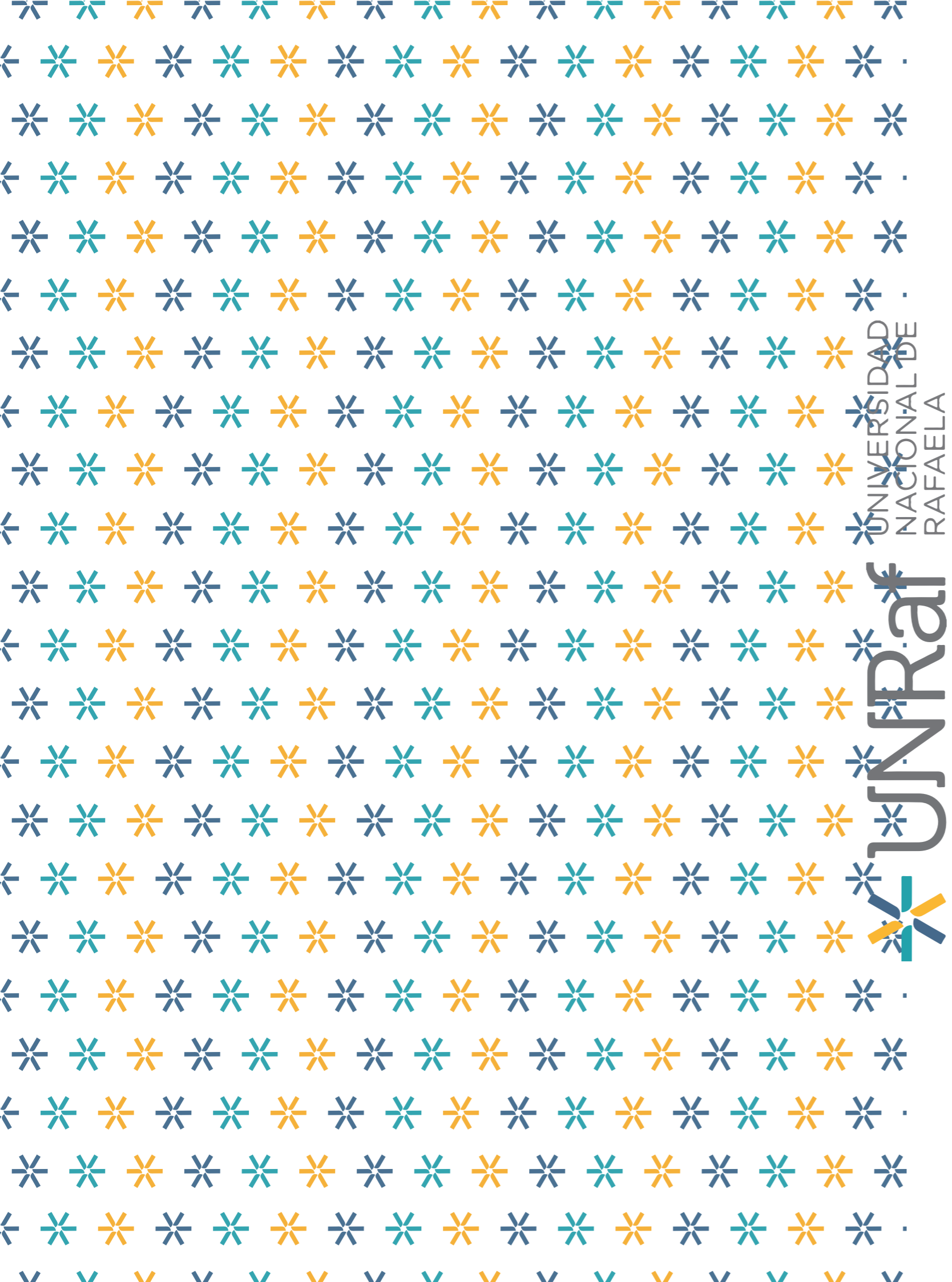
CARRERA

Licenciatura en Industrias Alimentarias

AUTORES

María Luciana D'anna

Paula Andrea Comtesse



PRESENTACIÓN

Presentar esta producción que se inscribe en una nueva línea de trabajo de nuestra editorial universitaria, que denominamos “Colección Libros de Cátedras”, supone un compromiso de apoyo y celebración institucional y profesional que no se puede eludir, pese a la multiplicidad de tareas y compromisos que conlleva la gestión académica en una novel institución universitaria que se halla en plena etapa de definiciones y crecimiento.

Mediante esta iniciativa se pretende potenciar las capacidades de los equipos docentes de las distintas propuestas formativas y Facultades de la UNRAf, para producir textos de apoyo a las actividades de enseñanza-aprendizaje y formación, así como también generar instancias de socialización e intercambios multidisciplinares e interdisciplinares que expresan parte de las indagaciones, problemáticas y reflexiones generadas en este particular escenario institucional y académico, enclavado en el centro oeste del territorio nacional.

Esta serie, en particular, reúne un conjunto de producciones seleccionadas en el marco de la I Convocatoria Institucional, realizada en el año 2021 y aprobada por Resolución CS N° 011/2021. Se abordan en este caso un conjunto de temáticas diversas que abarca: medios audiovisuales y digitales y entramado audiovisual, modelos de negocios en el área de los videojuegos y entretenimientos digitales, derechos del trabajo, entrenamiento deportivo, procesos en la era de la transformación digital, formación y prácticas docentes en los escenarios actuales, diseño industrial, lectura y escritura académica, macroeconomía, entre otras.

Ponderamos la calidad de los trabajos, así como también el nivel académico, la trayectoria profesional y el compromiso de sus autores en torno a estas temáticas y problemáticas y para con esta iniciativa institucional, considerada de relevancia para el presente y futuro de esta Universidad.

Agradecemos a las y los responsables de cada una de las publicaciones, a sus equipos de trabajo y a los/as integrantes de Ediciones UNRAf, por ayudarnos concretar este proyecto.

Mg. Cecilia Gutiérrez
Decana Facultad de Sociedad,
Estado y Gobierno

Bq. Fabiana Gentinetta
Decana Facultad de Tecnología e
Innovación para el Desarrollo

Dr. Jorge Daniel Rodríguez
Decano Facultad de Cultura,
Educación y Conocimiento

D'anna, María Luciana

Bioenergética / María Luciana D'anna ; Paula Andrea Comtesse. - 1a ed. - Rafaela : Ediciones UNRaf, 2023.

71 p. ; 29 x 15 cm. - (Cuadernos de Cátedra)

ISBN 978-987-4920-43-0

1. Biología. 2. Biología Celular. 3. Metabolismo. I. Comtesse, Paula Andrea. II. Título. CDD 572.8



©Universidad Nacional de Rafaela, 2021

Bv. Roca 989, Rafaela
Santa Fe, Argentina
Tel. (+54 03492) 501155
info@unraf.edu.ar
editorial@unraf.edu.ar
<http://www.unraf.edu.ar/>

Autoridades UNRaf

Rector

Dr. Rubén Ascúa

Vicerrectora

Mg. María Cecilia Gutiérrez

Decana

Bq. Fabiana Gentinetta

-

A/C Dirección editorial

Lic. Fernando García

Coordinación editorial

Lic. María Belén Romero

Maquetación y diseño

Lic. María Belén Romero

Tec. María Guadalupe Rey

Corrección

Mag. María Eugenia Meyer

La responsabilidad por los contenidos y las opiniones expresadas en los libros, artículos, estudios y otras colaboraciones publicadas por Ediciones UNRaf incumbe exclusivamente a los autores firmantes y su publicación, no necesariamente refleja los puntos de vista ni del Director Editorial, ni del Consejo Editor u otra autoridad de la UNRaf.



Atribución - No Comercial - Compartir por igual 4.0 Internacional (by-nc-sa 4.0): No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Esta licencia no es una licencia libre, y es la más cercana al derecho de autor tradicional.



Atribución (Attribution): En cualquier explotación de la obra autorizada por la licencia será necesario reconocer la autoría (obligatoria en todos los casos).



No Comercial (Non commercial): La explotación de la obra queda limitada a usos no comerciales.



Compartir por igual (ShareAlike): En caso de modificación, transformación o construcción sobre el material, se debe distribuir la contribución bajo la misma licencia que la original.

Índice

01. BIOENERGÉTICA CELULAR

Introducción	12
Metabolismo Celular	13
Autótrofos y Heterótrofos	16

02. MOLÉCULAS INTERVINIENTES EN LA BIOENERGÉTICA CELULAR

Concepto	18
DELTA G	19
El ATP	21
Hidrólisis del ATP	23
¿Cómo accionan otras moléculas que son potencialmente energéti - cas?.....	26
¿Cómo es el NAD+? ¿Qué es?	26
¿Qué es el FAD?	29

03. PARTE I

Rutas metabólicas involucradas en el proceso de respi- ración celular y fotosíntesis	34
Glucólisis	34
¿Qué es la Glucólisis?	35

Fase en la que se requiere energía	36
Etapas más relevantes	37
La segunda etapa o fase: formación de ATP a través de reacciones de fosforilación a nivel de sustrato.....	40
¿Qué le sucede al piruvato y al N ADH?.....	41

PARTE II

Descarboxilación oxidativa del piruvato	43
--	-----------

PARTE III

Ciclo de Krebs.....	45
El ciclo de Krebs: 8 pasos	46
Consideraciones importantes.....	48
Productos del Ciclo de Krebs	49
Producción energética del Ciclo de Krebs.....	49

PARTE IV

Cadena de electrones y fosforilación oxidativa	50
Transporte de Electrones en el Ciclo de la Energía de la Célula	50
Sistemas Acoplados: la Cadena de Transporte de Electrones y la Fosforilación oxidativa	50

04. PARTE I

La mitocondria	52
Concepto	52
Ultraestructura de una mitocondria	54

PARTE II

Organela fotosintética. El cloroplasto	57
Organelas especializadas en la fotosíntesis	57

05. COMPARACIÓN ENTRE RESPIRACIÓN CELULAR Y FOTOSÍNTESIS

Respiración celular aeróbica	61
Fotosíntesis	61
Conclusiones	62

*A nuestras alumnas y alumnos, por hacer posible nuestra tarea
de DAR.*

A nuestros colegas, referentes y evaluadores.

*A la Universidad Nacional de Rafaela, por su gestión y la posi-
bilidad que ofrece en satisfacer las necesidades académicas de
nuestra ciudad y región,*

*a su personal profesional y no docente, a cada una de
sus Facultades, y a la carrera LICENCIATURA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS.*

Nuestro agradecimiento por hacer esto posible.

01.

BIOENERGÉTICA CELULAR

Introducción

Conceptualmente la Bioenergética refiere a la forma que asumen las transducciones de energía en las células. Esto involucra todo tipo de energía que las unidades vivientes requieren de manera continua para atender el trabajo mecánico de los movimientos celulares, los sistemas de transporte moleculares e iónicos, la biosíntesis de macromoléculas a partir de sustratos sencillos, entre muchas otras actividades a las que asisten en definitiva toda ruta metabólica.

La Bioenergética Celular nos responde los siguientes interrogantes:

- ¿Cómo gestionan las células sus recursos energéticos para crear estructura y desarrollar sus funciones metabólicas habituales?
- ¿Cómo son los movimientos energéticos celulares para crear estructura y para funcionar metabólicamente?
- ¿Cómo son los movimientos energéticos de biosíntesis y degradación de biomoléculas? ¿Hay nexos y regulación?

Las células poseen una economía doméstica que desarrollan en forma cotidiana, en un exquisito balance entre lo que producen y lo que gastan y de esa articulación surge la dinámica de los procesos bioenergéticos.

Conceptualmente la BIOENERGÉTICA refiere a la forma que asumen las transducciones de energía en las células, es decir, la energía (y sus cambios) que las unidades vivientes requieren en forma continua para atender el transporte activo de moléculas e iones, biosíntesis de moléculas complejas y metabolitos a partir de grupos químicos más sencillos, entre otras actividades a las que asiste toda RUTA METABÓLICA.

EL término BIOENERGÉTICA asienta sus bases en las leyes de la termodinámica y en las oxidaciones biológicas que representan las formas bioquímicas del aporte de energía a la célula.

Metabolismo Celular

Es la suma de todas las transformaciones químicas que se producen en la célula u organismo. Se produce a través de una serie de reacciones químicas catalizadas enzimáticamente que se conocen como RUTAS METABÓLICAS.

Rutas metabólicas

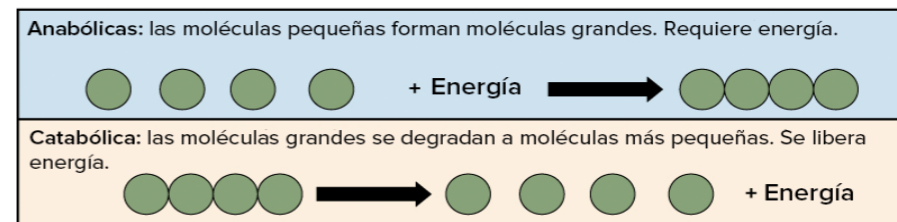


Imagen 1:
Lehninger (2009).

Cada uno de los pasos constitutivos y consecutivos de una ruta metabólica genera pequeños cambios químicos específicos, usualmente eliminación, transferencia o eliminación de átomos o grupos funcionales pequeños y específicos.

Un precursor o reactivo se convierte en producto final a través de una serie de intermediarios metabólicos denominados "metabolitos".

El metabolismo puede ser degradativo o CATABÓLICO cuando una molécula de mayor jerarquía (proteínas, ácidos nucleicos, lípidos, hidratos de carbono) se reduce a una o más moléculas sencillas, menores, como CO_2 , NH_3 , H_2O , CO , glicerol, ácidos orgánicos simples, etc. Las rutas catabólicas liberan energía que suele conservarse cautiva en enlaces covalentes en moléculas energéticas como ATP, u otros nucleótidos libres e intermediarios con potencial reductor como NADH, FADH_2 , NADPH y parte puede perderse o disiparse al entorno como calor.

Por el contrario, en procesos metabólicos de biosíntesis o ANABÓLICOS, los precursores simples y pequeños se edifican en moléculas complejas que serán usadas como nutrientes, o para la estructura y trabajo celular. Como ejemplo es útil citar la ribosa, una pentosa, que forma parte de nucleótidos libres y del ARN, al igual que lípidos simples y alcoholes que se combinan con fosfatos y aminoalcoholes dando lípidos complejos como los fosfolípidos y los aminoácidos que se organizan en proteínas, muchas de estas macromoléculas integrando membranas, organelas y material genético, entre otras propiedades funcionales y estructurales. Procesos todos que demandan continuo aporte de energía para poder transcurrir. La forma energética más rápida y funcional disponible para el metabolismo anabólico celular es el ATP, aunque debe mencionarse que hay ciertos procesos catabólicos que demandan también un aporte energético.

Ciertas rutas metabólicas pueden ser lineales; otras, en cambio, ramificadas; brindando en este último caso, varios productos finales, o intermediarios y/o precursores de nuevas rutas metabólicas.

Las rutas metabólicas requieren ENZIMAS (catalizadores biológicos) para acelerar , optimizar y regular la producción o degradación de los distintos metabolitos celulares, todos convergentes en el concepto de transformaciones desde SUSTRATOS a PRODUCTOS de gestión funcional y económica celular.

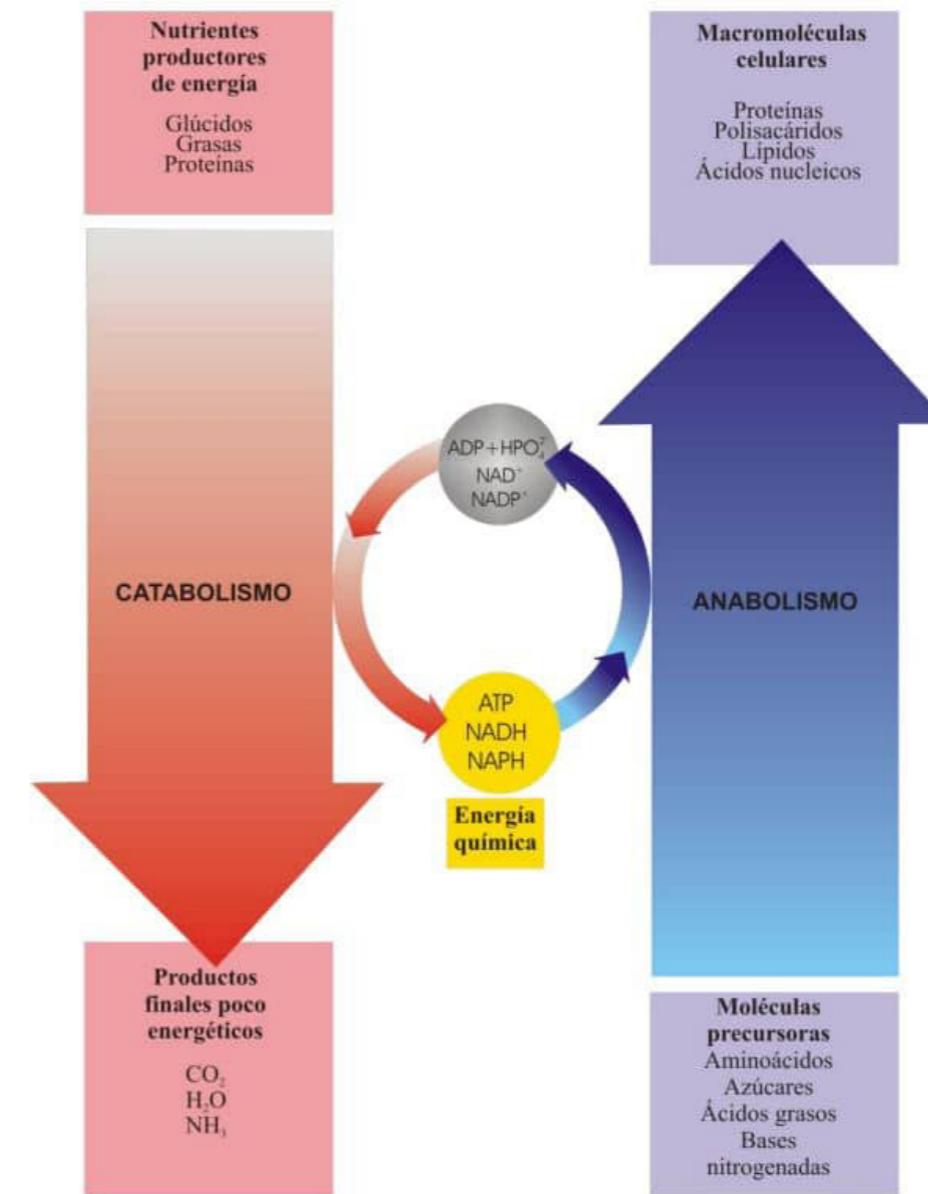


Imagen 2: Lehninger (2009).

El metabolismo celular es muy complejo y variable, interconectado e controlado, pero tal variabilidad no supone un gran número de reacciones bioquímicas, por el contrario, el metabolismo celular, (representado en su conjunto de rutas metabólicas) es coherente con un sistema organizado, regulado y por ende optimizado de un número limitado de tipos de reacciones que la célula es capaz de desarrollar en el marco de una exquisita economía de recursos químicos y energéticos, atravesado por el uso común de la moneda energética e inmediata, el ATP, además de una cantidad restringida

02.

MOLÉCULAS INTERVINIENTES EN LA BIO-ENERGÉTICA CELULAR

Concepto

La Bioenergética es la termodinámica Bioquímica, es decir, de los procesos biológicos. Implica estudiar los cambios energéticos que acompañan a las reacciones bioquímicas (las reacciones que transcurren en el interior celular).

Los sistemas biológicos son ISOTÉRMICOS, utilizan cambios de energía para impulsar todos sus procesos. En particular, esto hace referencia a la forma en que nuestro organismo obtiene su combustible a partir de los alimentos.

¿Cómo se mide el cambio de energía que sucede cuando ocurre una reacción química? SE USAN CAMBIOS DE ENERGÍA ¿QUÉ SIGNIFICA ESTO? Los cambios de energía se miden con un parámetro llamado DG.

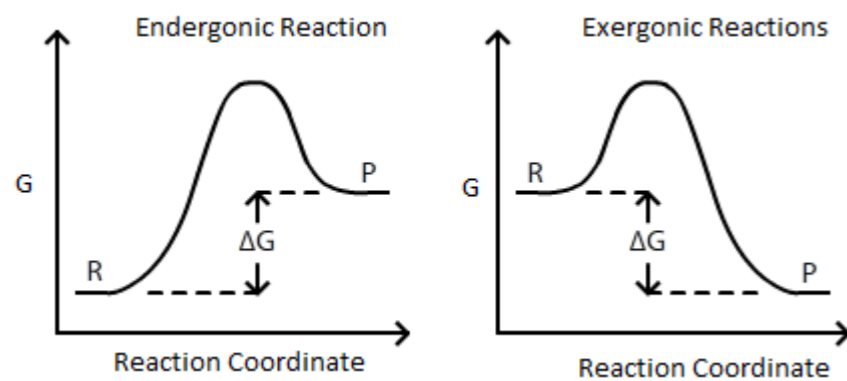
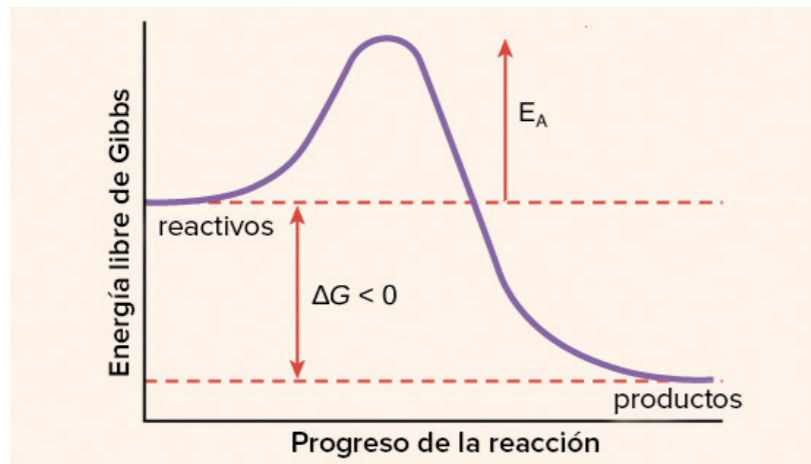
DELTA G

Es la porción del cambio de energía que está disponible para realizar un trabajo mecánico, eléctrico, químico, etc. Se asume que los reactivos tienen cada uno un nivel de energía dado por todos los enlaces químicos que arman la molécula y lo mismo sucede con los productos.

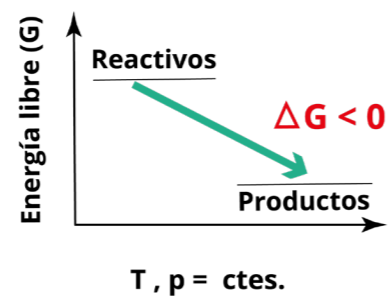
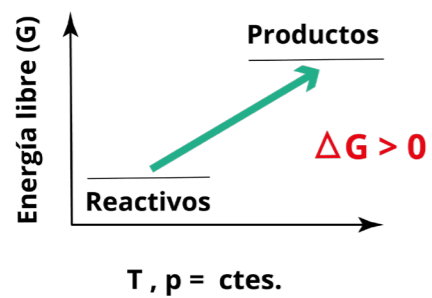
Así, en la reacción química general $A + B \rightarrow C + D$ cada uno tendrá su energía y se podrá plantear que la energía de A y la energía de B será la energía de los reactivos $D (A+B)$. La de los productos será, respectivamente, de los productos será respectivamente $D (C+D)$.

Si restamos las energías de los productos, menos la de los reactivos pueden suceder tres cosas:

- Que los productos tengan más energía que la de los reactivos. En ese caso, el sistema tuvo que haberse ayudado desde afuera con aporte de esa energía que se sumó a los productos (la reacción recibió energía para poder darse) Es ENDOTÉRMICA O ENDERGÓNICA Y, POR ENDE , NO ESPONTÁNEA.
- Que los productos tengan menor energía que la de los reactivos y, por ello el sistema sucedió en forma espontánea. Al dar un excedente de energía al entorno, al medio donde procedía la reacción, se dice entonces que la reacción es EXOTÉRMICA O EXERGÓNICA, ES DECIR, TRANSCURRIÓ SIN PROBLEMAS E INCLUSO CEDIÓ SU ENERGÍA SOBRANTE.
- Que reactivos y productos tengan igual energía. En ese caso, el sistema reacciona en ambos sentidos a la misma velocidad (no es el caso que nos ocupa).



Fuente: Shamsheer Singh.



Reacción no espontánea

Reacción espontánea

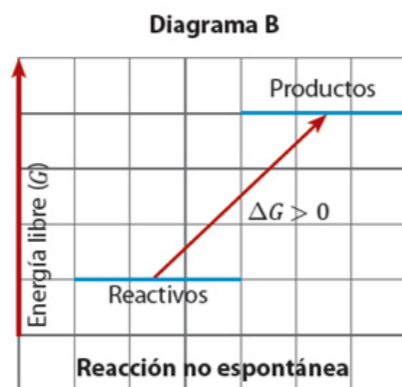
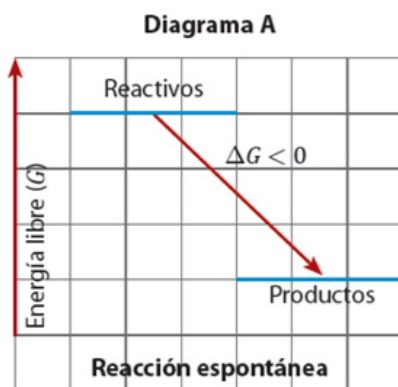


Imagen 5: Portaeducativo.net

Los sistemas biológicos suelen usar reacciones exergónicas que producen un excedente de energía. Aportan a reacciones endergónicas que necesitan energía externa para poder ocurrir. Esta estrategia se llama ACOUPLE, y es muy usada por las rutas metabólicas y está muy controlada y articulada en el metabolismo celular. Una forma muy frecuente de acoplar reacciones en diferido es guardar parte de la energía que se libera en una reacción exergónica bajo la modalidad de un enlace fosfato de alta energía.

PODEMOS PREGUNTARNOS ACERCA DE QUÉ ESTRUCTURAS QUÍMICAS ESTAMOS HABLANDO CONCRETAMENTE. SIN DUDA, NOS REFERIMOS AL ATP.

El ATP

El ATP es un nucleótido libre, muy energético que guarda en dos de sus enlaces fosfatos, energía capaz de ser liberada, de acuerdo a la circunstancia en que se lo demande la célula.

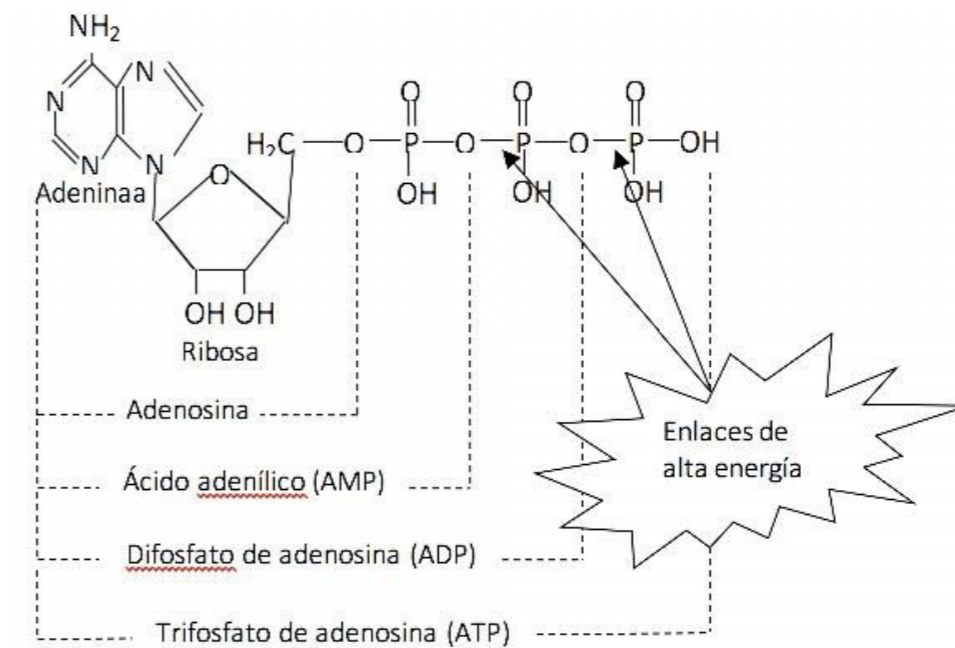
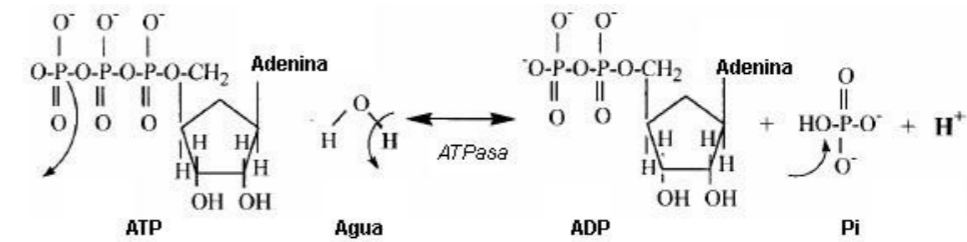


Imagen 6: Hyperphysics Biología.

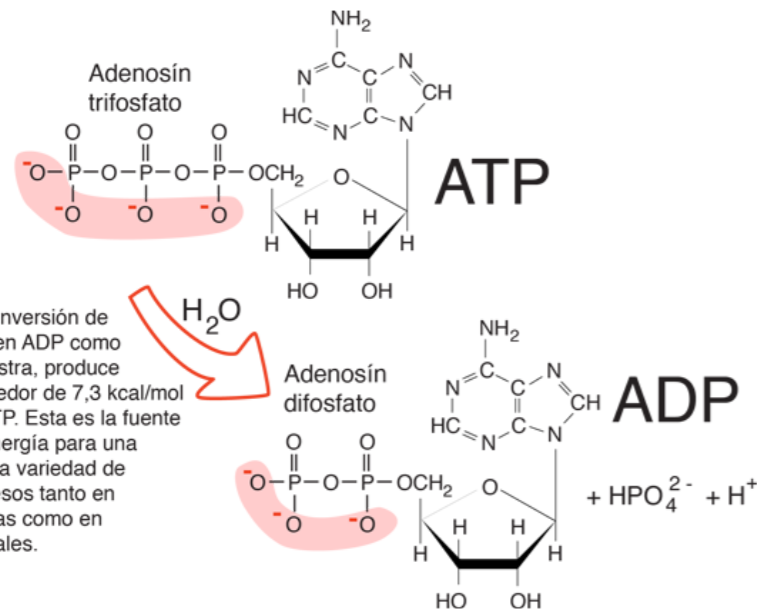


Imagen 7: Hyperphysics Biología.

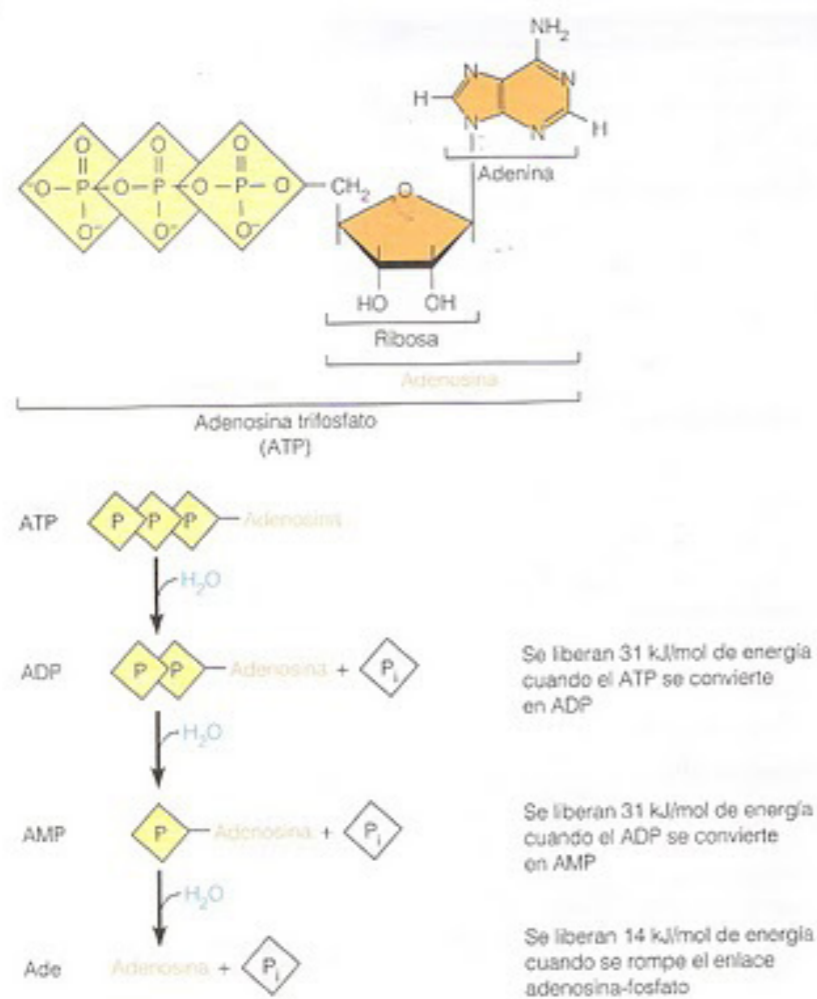


Imagen 8: Junta de Andalucía - EL ATP

Hidrólisis del ATP

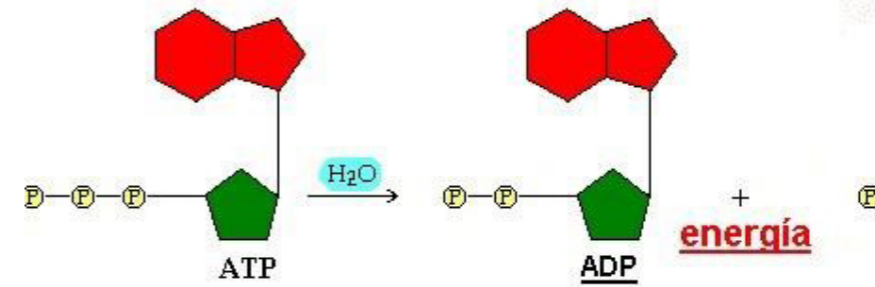


Imagen 9: Junta de Andalucía - EL ATP

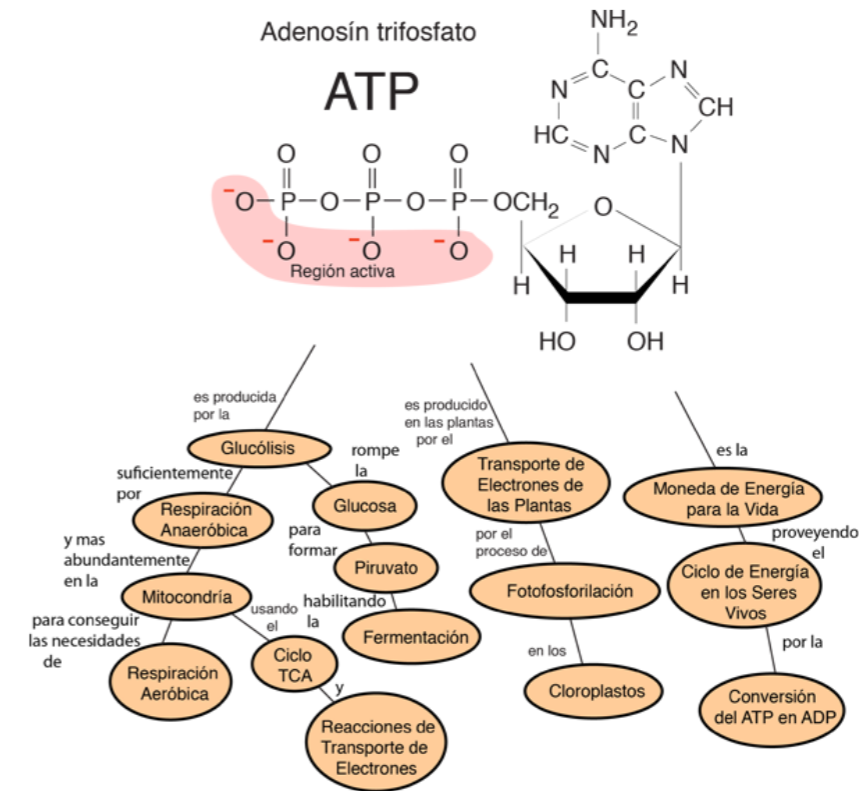


Imagen 10: Hyperphysics Biología.

Hidrolización del ADP

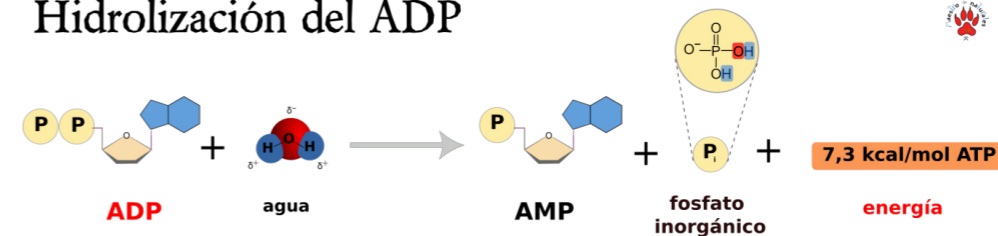


Imagen 11: Junta de Andalucía - ADP

ENERGIA LIBRE ASOCIADA A LA HIDRÓLISIS DE ATP

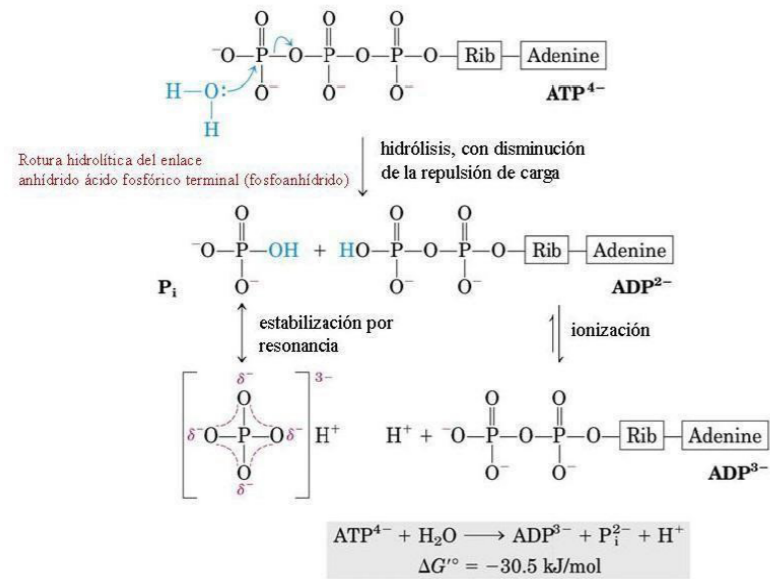


Imagen 12: Hyperphysics Biología.

Tabla II - 2. Potenciales de transferencia (asumir valor modular) de grupos fosfatos, asociados a la hidrólisis experimentada por un grupo de biomoléculas (tomados de Lehninger, 1986).

Sustancia	$\Delta G / \text{kJ mol}^{-1}$ (Pot. transf. fosfatos)
Fosfoenol piruvato	
1,3- difosfoglicerato	
Fosfocreatina	
ATP	
ADP	
Glucosa- 1- fosfato	
Fructosa- 6- fosfato	
AMP	
Glucosa- 6- fosfato	

Ejemplo de acoplamiento de reacciones exotérmicas con endotérmicas en el metabolismo celular.

Ejemplo: síntesis de glucosa-6-fosfato



$$\Delta G'^{\circ} = 13,8 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta G'^{\circ} = -30,5 \text{ kJ/mol}$$

Estas dos reacciones comparten los intermedios H_2O y P_i , así:

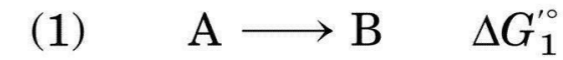


$$\Delta G'^{\circ} = 13,8 \text{ kJ/mol} + (-30,5 \text{ kJ/mol}) = -16,7 \text{ kJ/mol}$$

Reacción global es exergónica

Imagen 13: Hyperphysics Biología.

REACCIONES ACOPLADAS

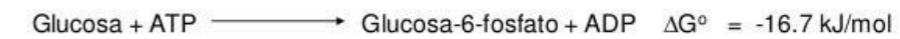
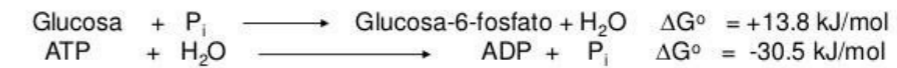


¿Cómo se aplican estos principios en el metabolismo celular?

La primera reacción de la glucólisis es la formación de glucosa-1-fosfato a partir de glucosa, esta es una reacción desfavorable desde el punto de vista termodinámico:



para hacer esta reacción posible se acopla con la hidrólisis de ATP,



(b) Chemical example

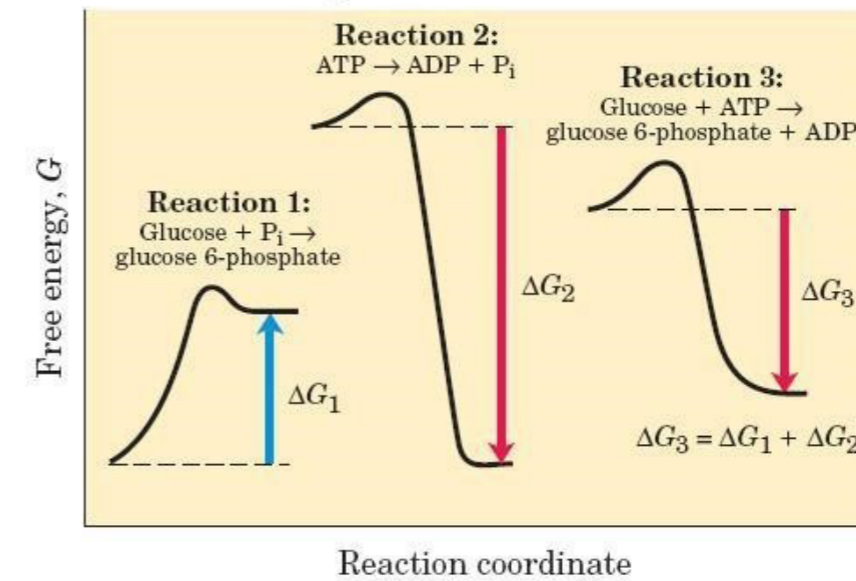


Imagen 14: Introducción al metabolismo. Patricio Muñoz Torres

Imagen 15: Bioenergética, enzimas, metabolismo - Dra. Laura Castro. Departamento de Bioquímica, Facultad de Medicina Universidad de la República.

¿Cómo accionan otras moléculas que son potencialmente energéticas?

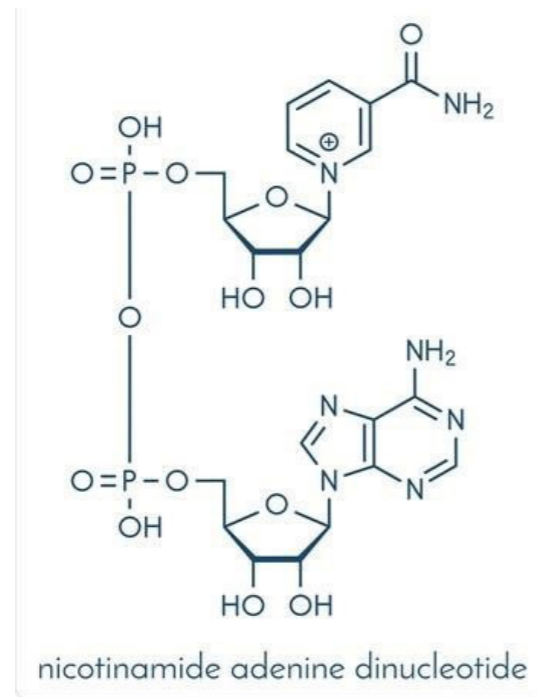


Imagen 16:
NAD - Wikipedia.

¿Cómo es el NAD+? ¿Qué es?

EL NAD es un EQUIVALENTE DE REDUCCIÓN. Esto es una forma indirecta de generar ATP, en el cual la energía está contenida en los HIDRÓGENOS que transporta la molécula.

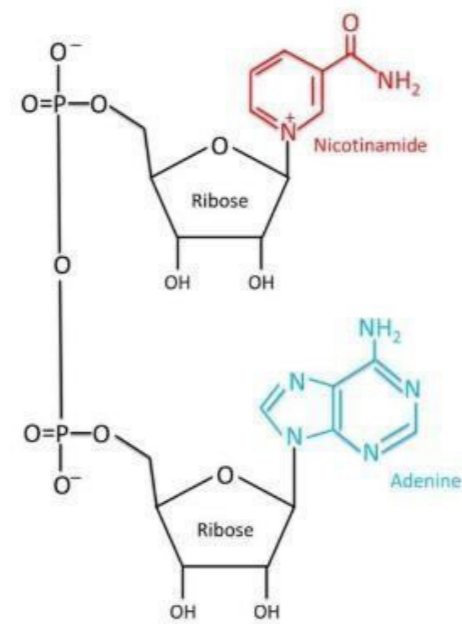


Imagen 17:
NAD - Wikipedia.

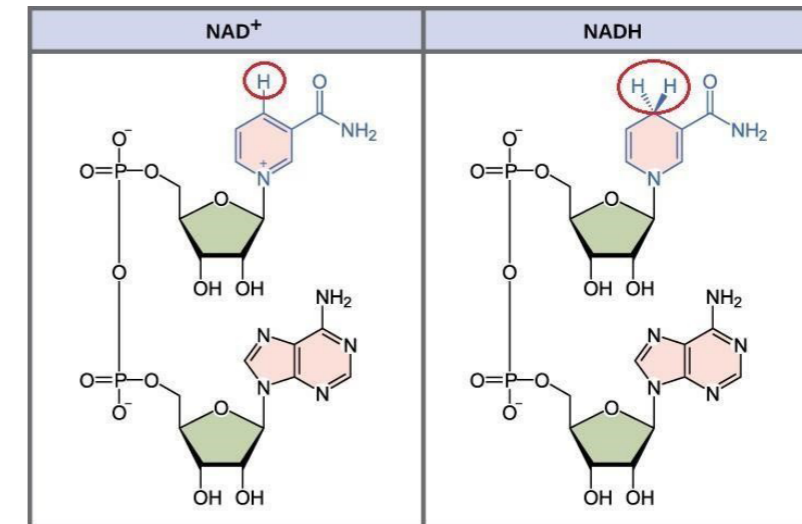


Imagen 18:
NAD - Wikipedia.

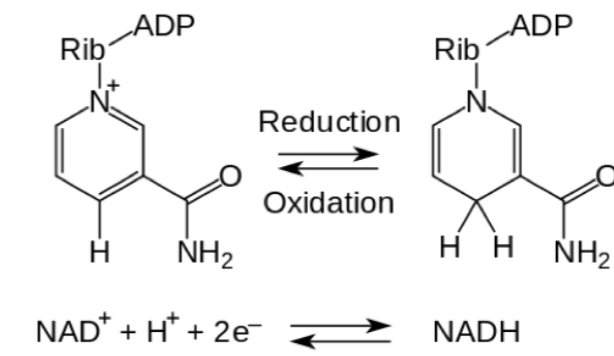


Imagen 19:
Bioserendipity - NAD+ and NADH

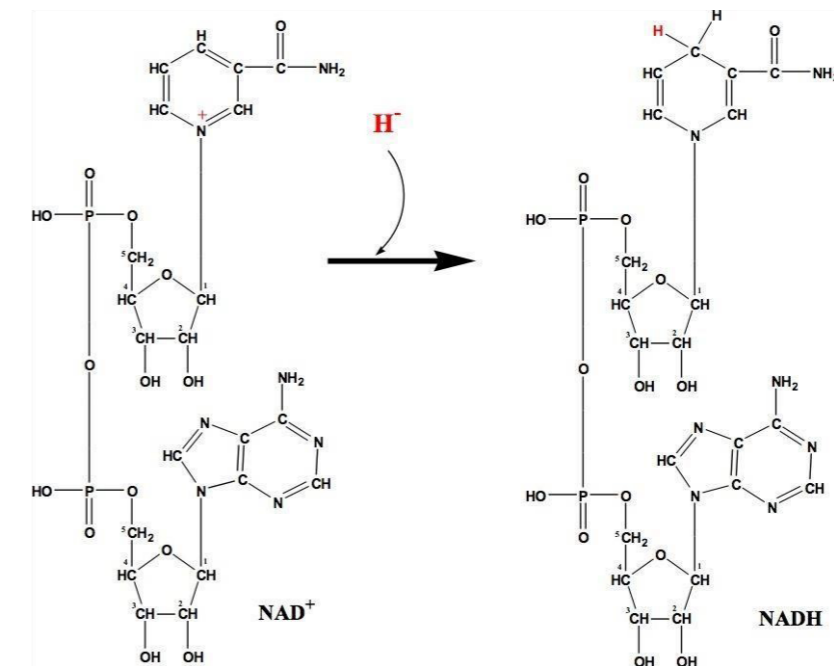


Imagen 20:
Bioserendipity - NAD+ and NADH

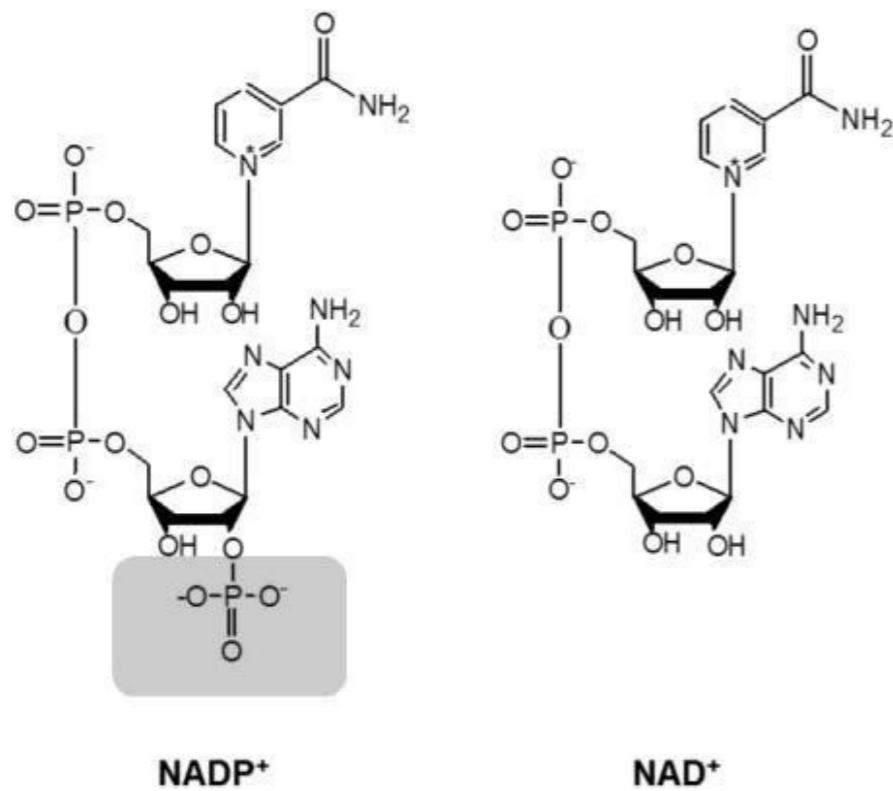
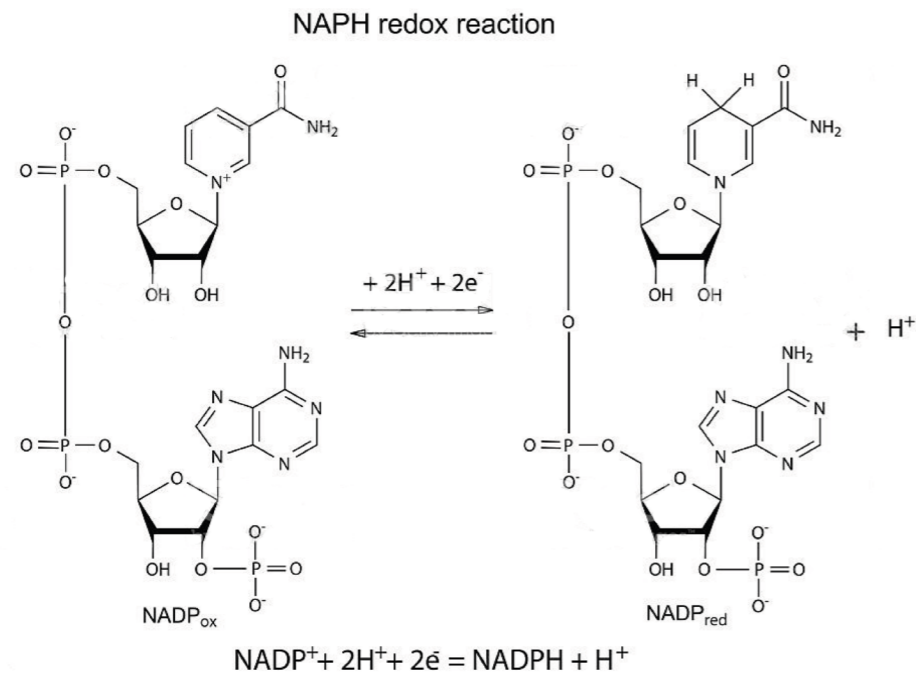


Imagen 21:
Bioserendipity - NAD⁺
and NADH.

¿Qué es el FAD? ¿Qué es el FMN? Son dos coenzimas derivadas de la riboflavina que es una de las vitaminas del complejo B.

Estas co-enzimas también acomodan Hidrógenos (H⁺ y e⁻) en sus estructuras moleculares para poder portarlos desde donde los reciben (de una deshidrogenasa) hasta el lugar donde se necesiten (usualmente en la cadena respiratoria y otras encrucijadas metabólicas). Buceando un poco en sus estructuras podemos entender su función.

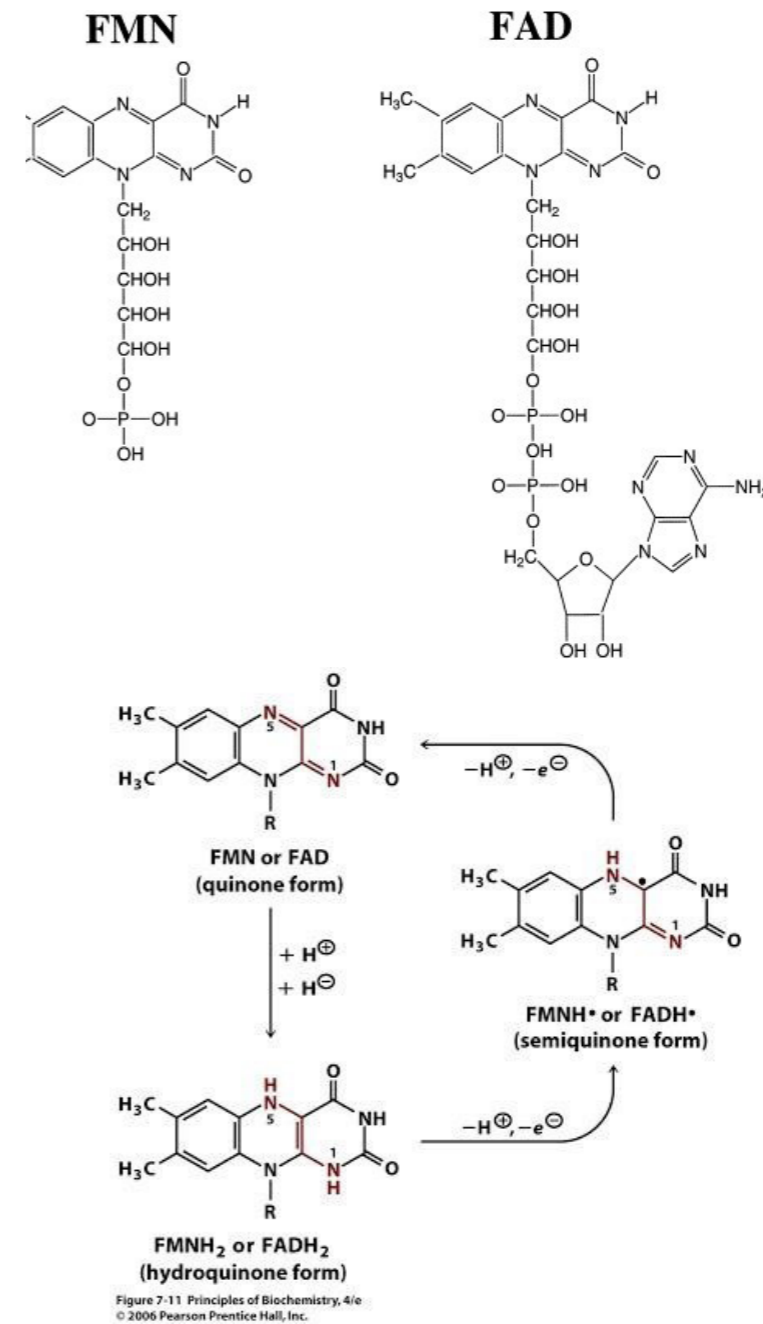
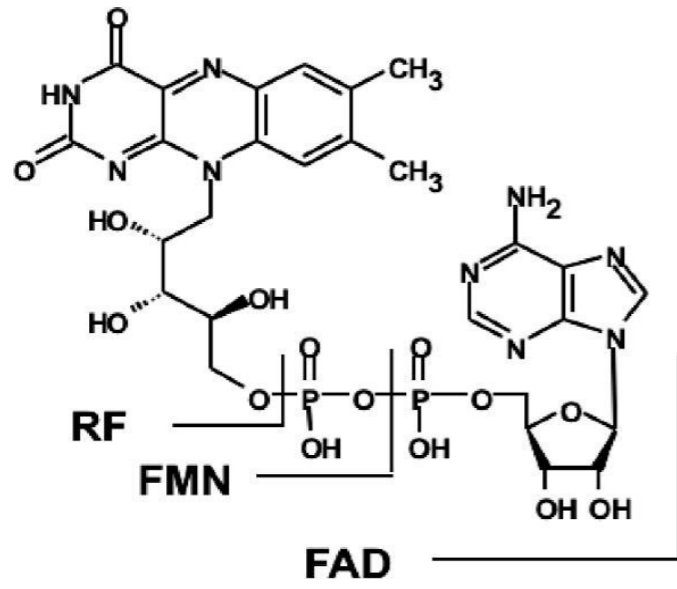
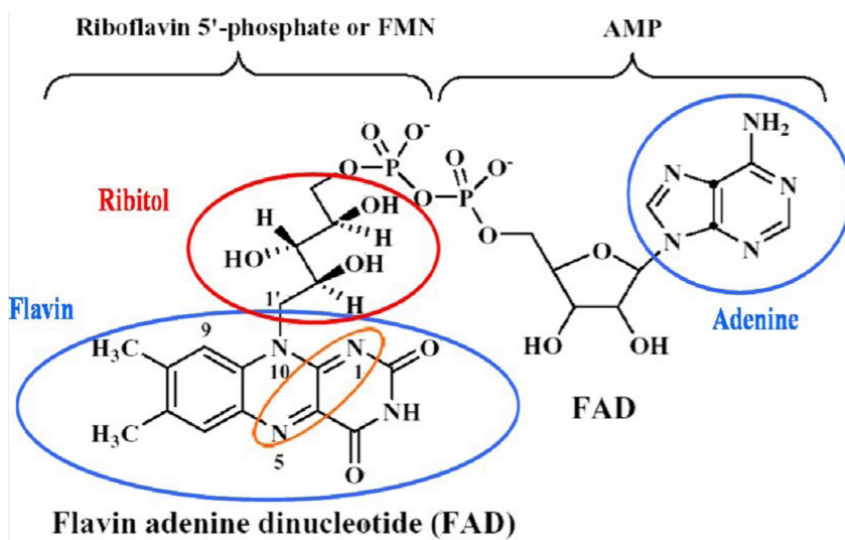
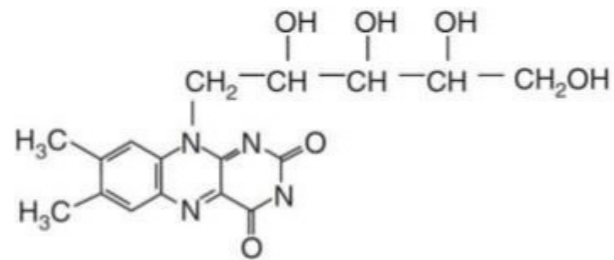


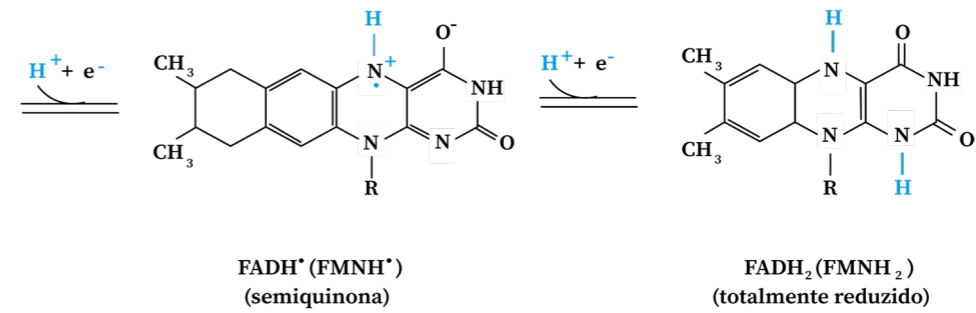
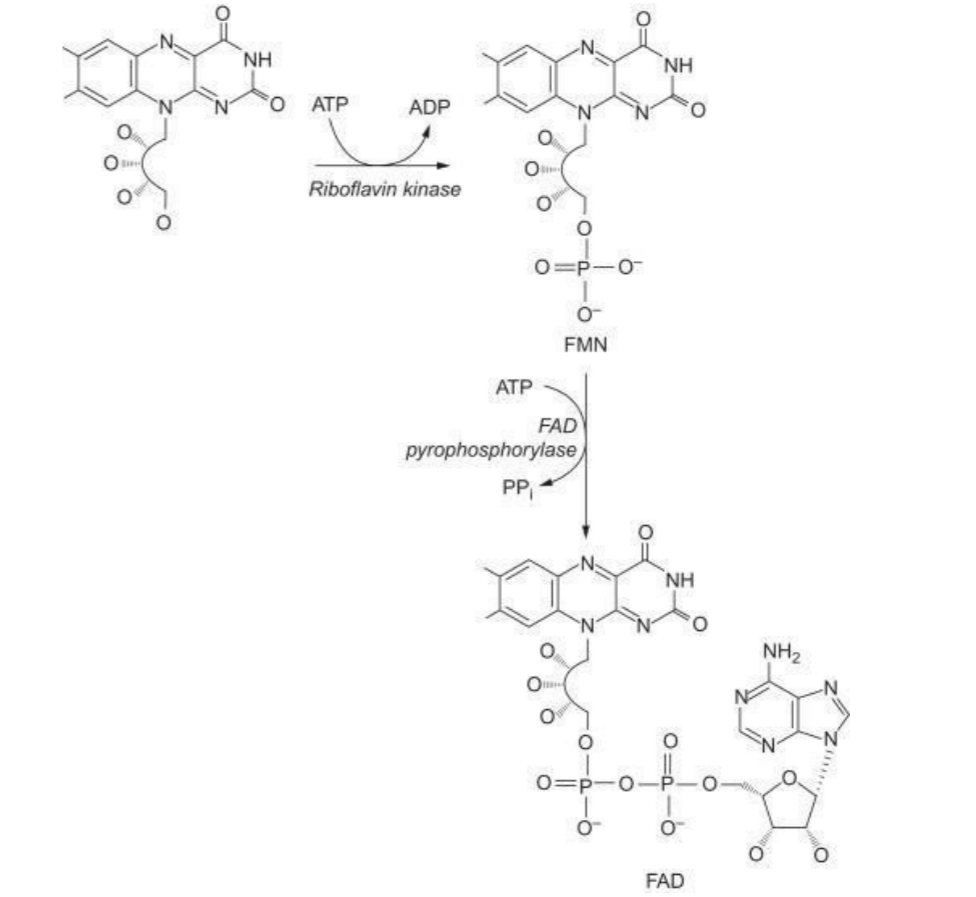
Imagen 22:
Lehninger (2009)



Riboflavin - Structure



Flavin adenine dinucleotide (FAD)



FADH• (FMNH•)
(semiquinona)

FADH₂ (FMNH₂)
(totalmente reducido)

Riboflavin - Structure

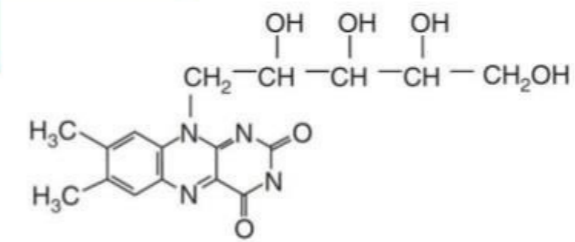


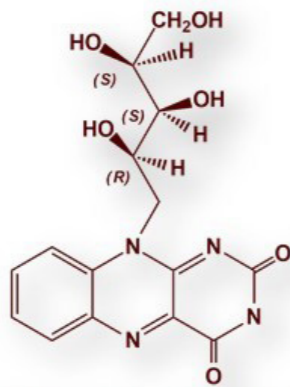
Imagen 26: Bioserendipity - NAD+ and NADH.

Imagen 27: Bioserendipity - NAD+ and NADH.

Imagen 23: Bioserendipity - NAD+ and NADH.

Imagen 24: Bioserendipity - NAD+ and NADH.

Imagen 25: Bioserendipity - NAD+ and NADH.



RIBOFLAVINA (VITAMINA B₂)
7,8-Dimetil-10-ribitil-isoaloxacin-3,10-dihidro-7,8-dimetil-10(d-ribo-2,3,4,5-tetrahidroxipentil)benzopteridin-2,4-diona

Imagen 28:
Riboflavina - Wikipedia

Coenzymes of dehydrogenases

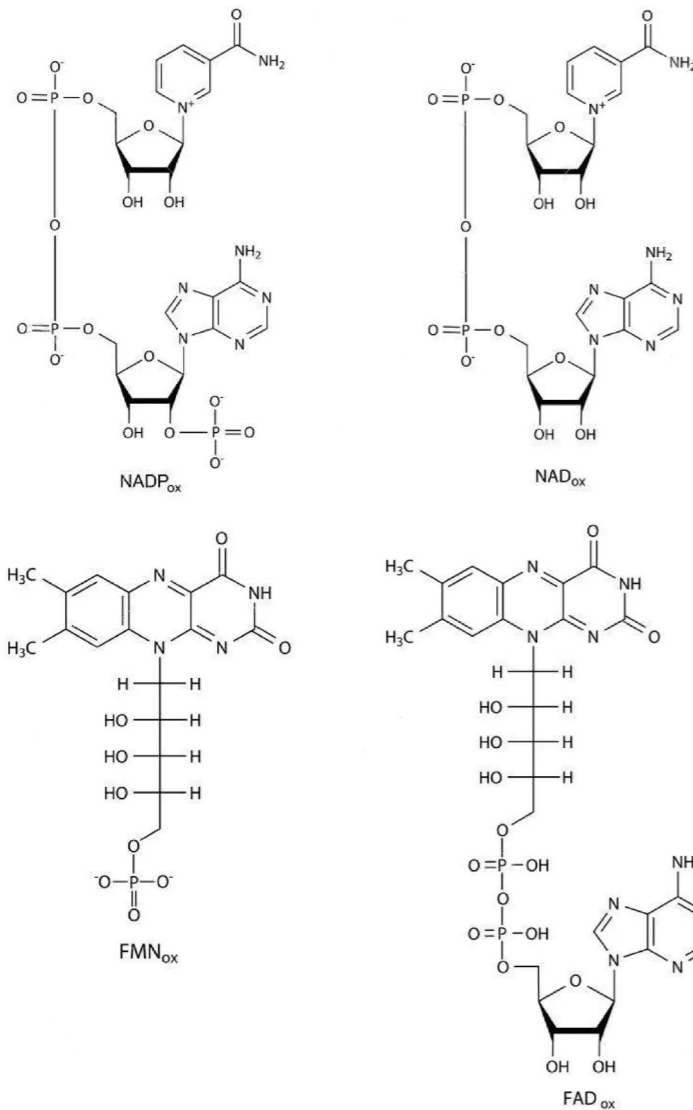
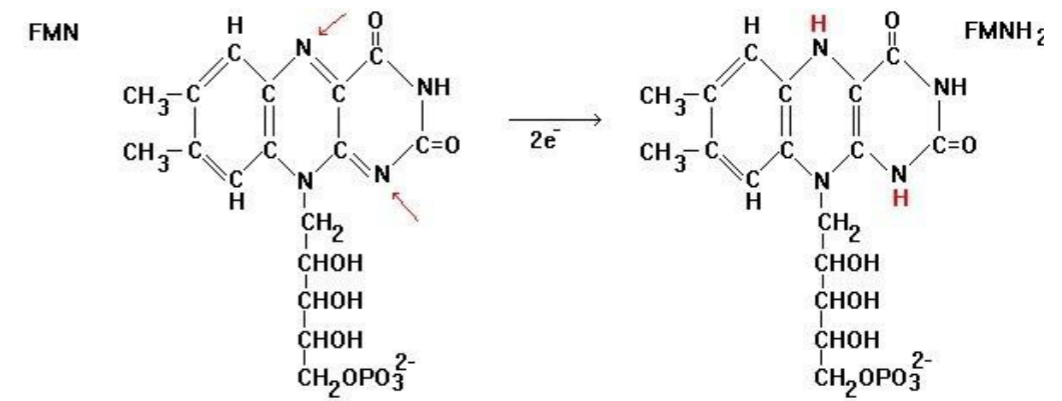


Imagen 29:
Bioserendipity - NAD+ and NADH.



Reduction of the isoalloxazine ring takes place at the points shown by arrows

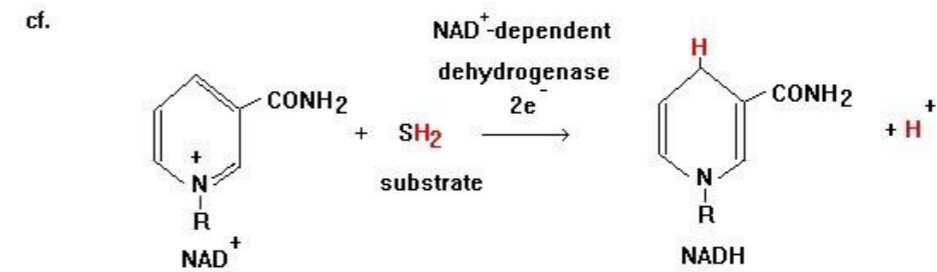
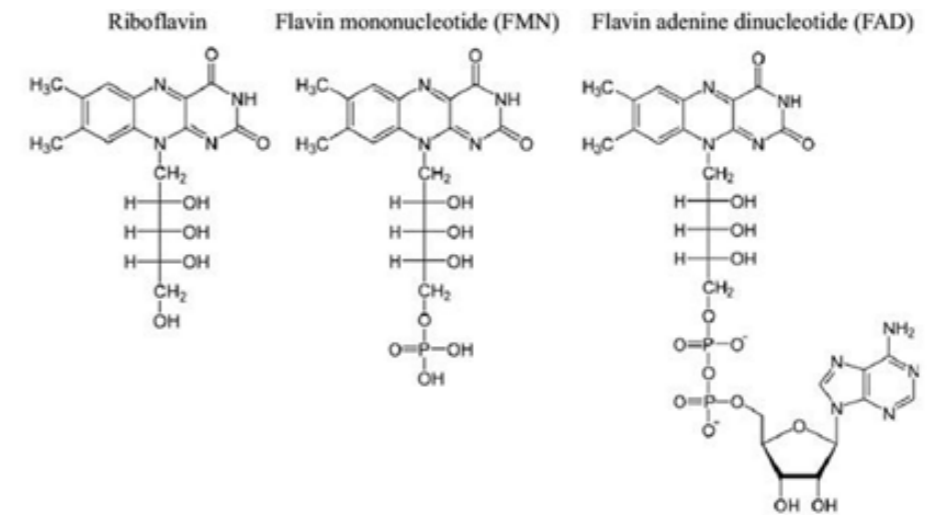


Imagen 30:
Bioserendipity - NAD+ and NADH.



Molecular masses: riboflavin: 376.4 g/mol; FMN: 456.3 g/mol, FAD: 785.6 g/mol.

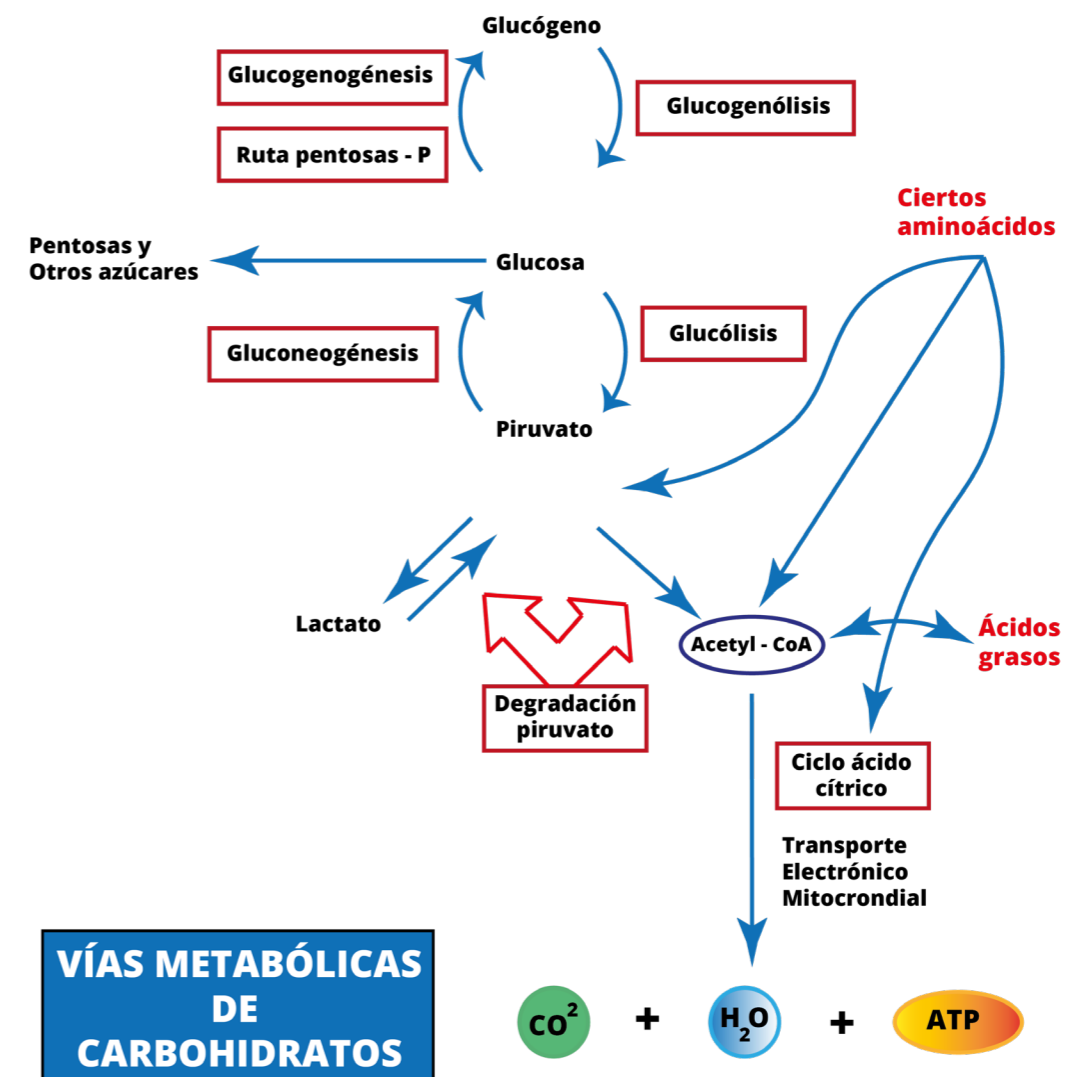
Imagen 31:
Bioserendipity - NAD+ and NADH.

03.

PARTE I. RUTAS METABÓLICAS INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE RESPIRACIÓN CELULAR Y FOTOSÍNTESIS

Glucólisis

Nos preguntamos qué es la glucólisis. Si una ruptura como aparenta o si genera metabolitos intermedios que dispararán biosíntesis de otras moléculas. Lo veremos a continuación.



¿Qué es la glucólisis?

La **glucólisis** es una serie de reacciones que extrae energía de la glucosa al romperla en dos moléculas de tres carbonos llamadas piruvato. La glucólisis es una vía metabólica ancestral —o sea, que su evolución ocurrió hace mucho tiempo— y se encuentra en la gran mayoría de los organismos vivos hoy en día.

Imagen 32:
Khan Academy.

En los organismos que realizan respiración celular, la glucólisis es la primera etapa de este proceso. Sin embargo, la glucólisis no requiere de oxígeno, por lo que muchos organismos anaerobios —organismos que no lo utilizan— también tienen esta vía.

La glucólisis ocurre en el citosol de una célula y se puede dividir en dos fases principales: la fase en que se requiere energía, sobre la línea punteada en la siguiente imagen y la fase en que se libera energía.

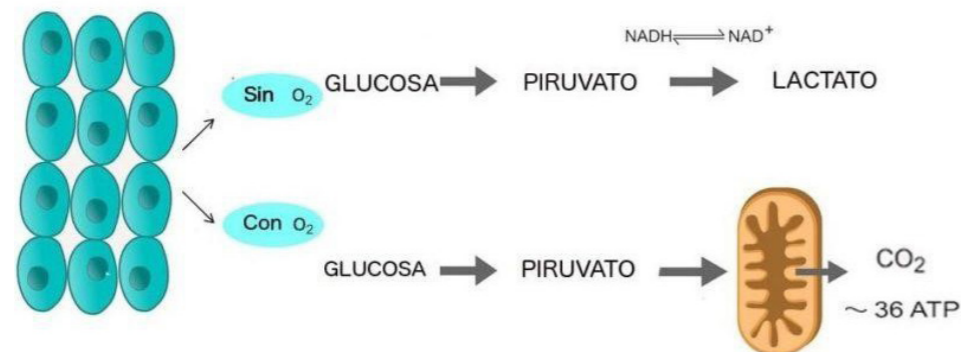


Imagen 33:
OCW - Unican

Fase en que se requiere energía

En esta fase, la molécula inicial de glucosa se reordena y se le añaden dos grupos fosfatos. Los dos grupos fosfato causan inestabilidad en la molécula modificada —ahora llamada fructosa-1,6-bifosfato—, lo que permite que se divida en dos mitades y forme dos azúcares fosfatados de tres carbonos. Puesto que los fosfatos utilizados en estos pasos provienen de ATP, se deben utilizar dos moléculas de ATP.

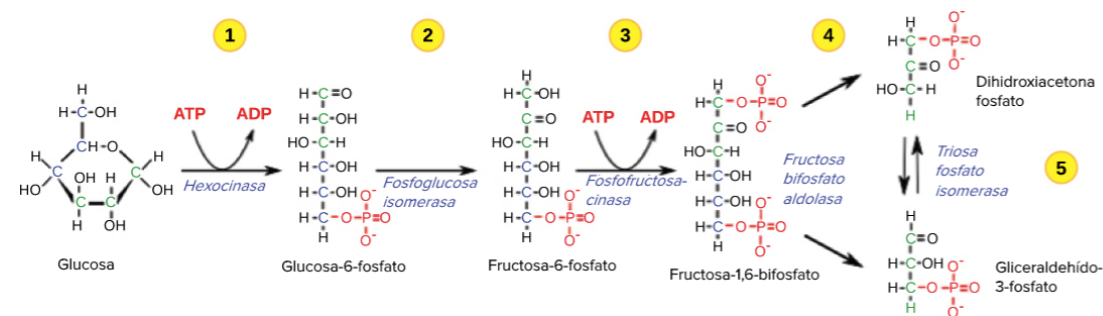


Imagen 34:
Lehninger (2009)

Los dos azúcares de tres carbonos formados cuando se descompone el azúcar inestable son diferentes entre sí. Solo uno —el gliceraldehído-3-fosfato— puede entrar al siguiente paso. Sin embargo, el azúcar desfavorable, D, H, A, P, se puede convertir fácilmente en el isómero favorable, por lo que ambos completan la vía al final.

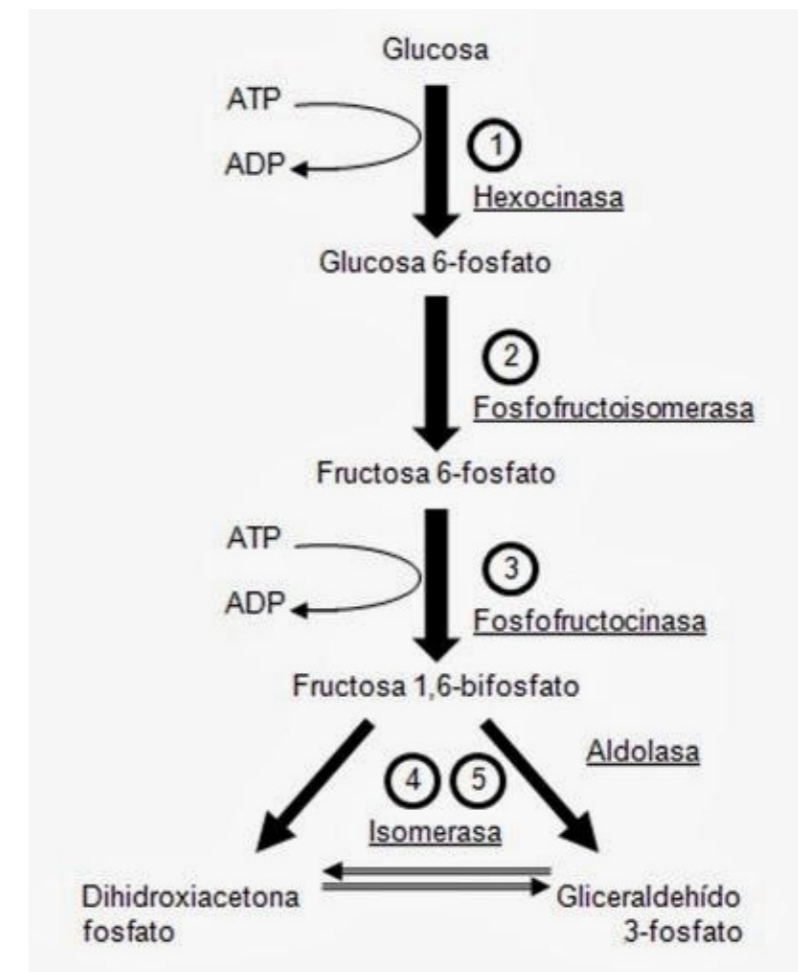


Imagen 35:
Apuntes de Biotecnología Blog.

Etapas más relevantes

- **Glucosa a glucosa-6-P** Este primer paso es útil para secuestrar a la glucosa dentro de la célula, y es el paso inicial de todas las vías de utilización de la glucosa. Cualquier vía de uso requiere previamente que la glucosa esté esterificada en el C6 con una molécula de ácido ortofosfórico. La reacción está catalizada por la hexoquinasa, presente en todas las células de los seres vivos. Hay varias isozimas: la I, II y III son relativamente inespecíficas, pues fosforilan

en el C6 a otras hexosas. Se inhiben alostéricamente por producto final glu-6-P. La isozima IV es altamente específica para la glucosa, se halla en hígado y en islotes beta del páncreas y se llama glucoquinasa.

Esta reacción, además de asegurar la captura de la glucosa en el interior celular, dado que las membranas celulares son impermeables a Glu-6-P, genera un compuesto más energético que su sustrato precedente, pues lo transforma en glu-6-P que es un compuesto más reactivo, apto para intervenir en rutas metabólicas diversas, según la demanda celular. Además, el uso de glu-6-P una vez formado es inmediato y así la célula mantiene siempre un gradiente de glucosa apto para el ingreso de más.

La glu-6-P se constituye en una encrucijada metabólica, un nudo caminero desde donde parten y a donde llegan muchas rutas metabólicas que hacen a la cotidianeidad celular.

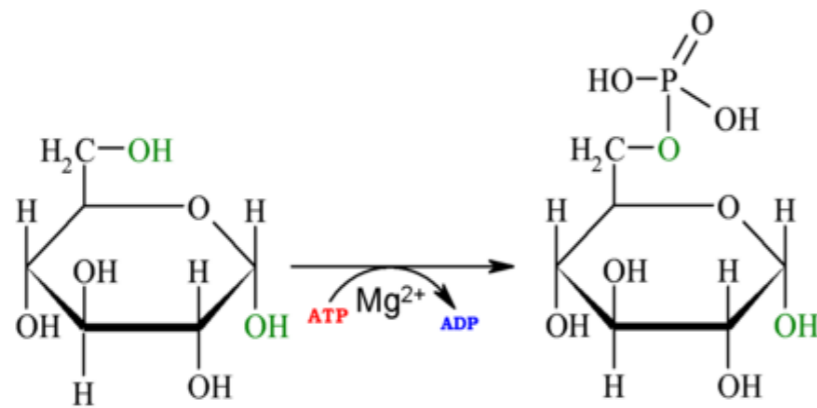


Imagen 36:
Glu-6-P - Wikipedia

- Isomerización: notar que se isomeriza la estructura lineal

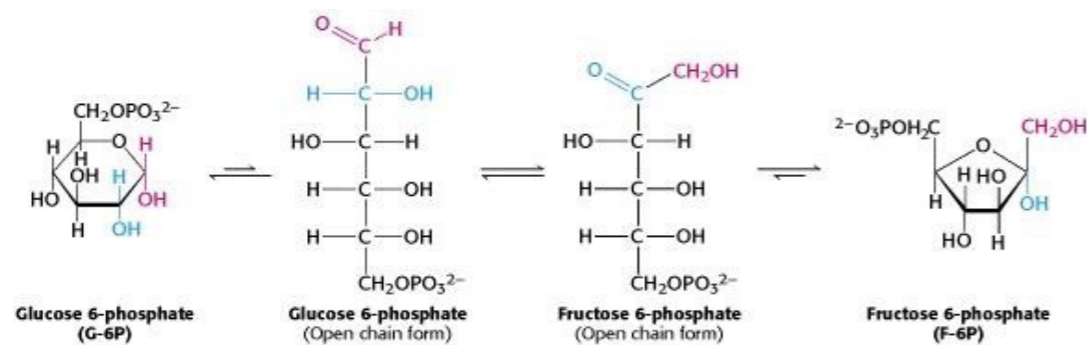


Imagen 37:
Docer

- Fosforilación de la fru -6-P a fru-1,6-bisfosfato.

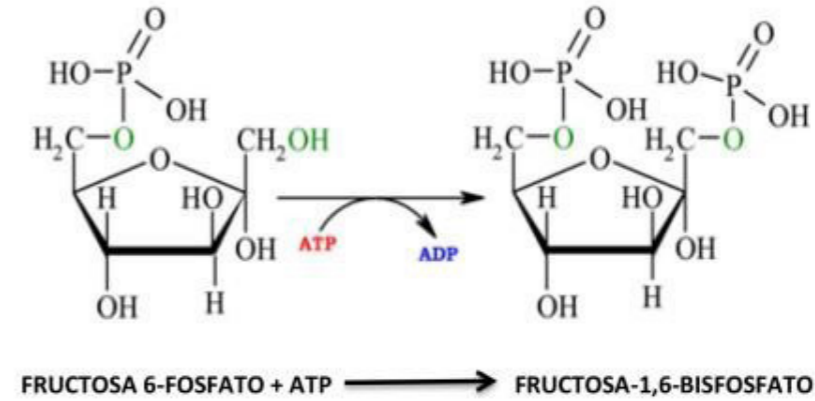


Imagen 38:
Docer

La fosforilación de la Fru-6-P por acción de la PKI (fosfofructoquinasa I). Este paso tiene una compleja regulación alostérica. Se activa cuando hay escaso nivel de ATP y/o exceso de AMP y ADP, ribulosa -5-P y fructosa 2-6 bifosfato. Se inhibe ante exceso de ATP u otras fuentes de energía fácilmente disponible.

- Acción de la Aldolasa:

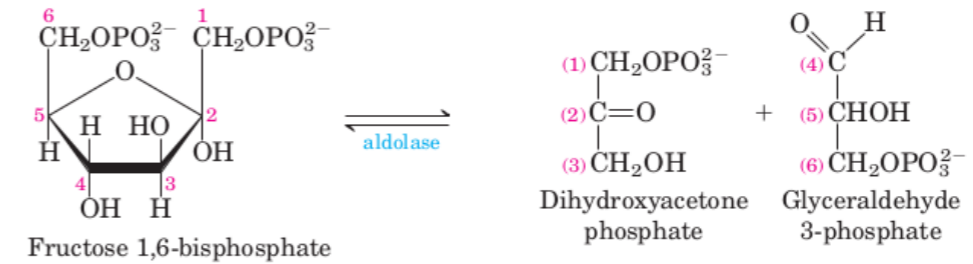


Imagen 39:
Aldolasa - Wikipedia

Al analizar la primera etapa nos enfocamos en los gastos de energía. Hasta aquí nos ha costado romper a la glucosa 2 moléculas de ATP y llevarla a dos moléculas de 3 carbonos (monosacáridos). La estrategia bioquímica fue formar un intermediario metabólico (fructosa-1,6-bisfosfato) altamente inestable desde el enfoque de la termodinamia, para que en esas condiciones pudiera sin costo energético escindirse en dos triosas fosforiladas. Debemos mirar a estas dos moléculas producidas como dos estructuras que aún tienen mucho por dar.

Es así que podemos resumir esta etapa mirando sus costos y sus características principales, así como también el paso regulatorio de

más jerarquía. Se asume como una etapa preparatoria o de inversión energética.

Notar que las KINASAS requieren ATP y que las ISOMERASA Y MUTASAS no lo requieren. Esta curiosidad es una regla o constante en todas las rutas que hagan a la economía celular.

Etapa preparatoria o de inversión

- Glucosa se convierte en Gliceraldehído 3-fosfato (2)
- Punto de regulación: formación de fructosa 1,6-difosfato. **IRREVERSIBLE**
- Fosfofructoquinasa es enzima clave. Es inhibida por ATP
- Se invierte 2 ATP

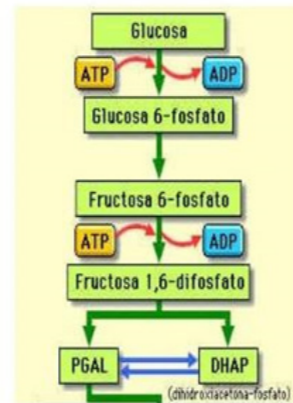


Imagen 40: Etapa respiratoria - Slideshare.

Este es el fin de la primer Etapa. HASTA AQUÍ SOLO HE GASTADO ATP PARA PARTIR LA MOLÉCULA DE 6C EN 2 MOLÉCULAS DE 3C.

La segunda etapa o fase es la que se forma ATP a través de reacciones de fosforilación a nivel de sustrato.

Fase en que se libera energía:

En esta fase, cada azúcar de tres carbonos se convierte en otra molécula de tres carbonos, piruvato, mediante una serie de reacciones. Estas reacciones producen dos moléculas de ATP y una de NADH. Dado que esta fase ocurre dos veces, una por cada 2 azúcares de 3 C resultan 4 moléculas de ATP y 2 de NADH + H⁺, en total.

La estrategia energética es la formación de intermediarios metabólicos inestables que tenderán a buscar su armonía termodinámica rompiendo enlaces fosfatos lábiles y entregando esa energía para formar ATP a partir de ADP.

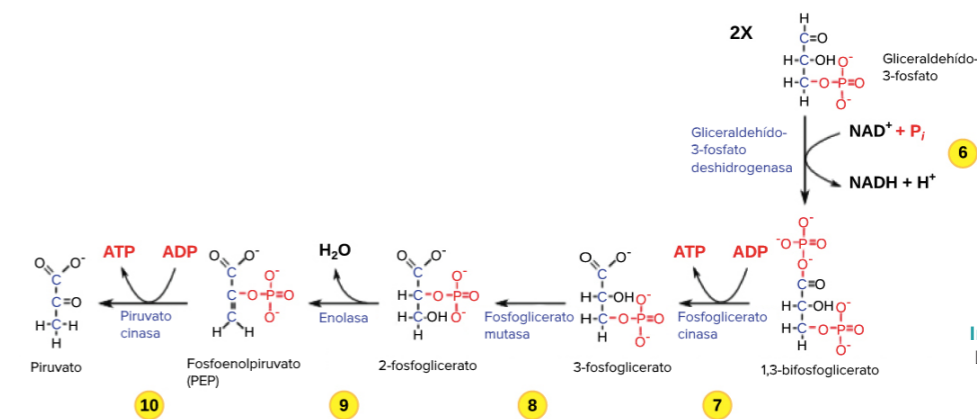


Imagen 41: Lehninger (2009).

Cada reacción de la glucólisis es catalizada por su propia enzima. La enzima más importante para la regulación de la glucólisis es la fosfofructoquinasa, como ya hemos visto. En esta segunda etapa se dan dos fosforilaciones de ADP (a nivel de Sustrato) para dar ATP.

En resumen, la glucólisis convierte una molécula de glucosa de seis carbonos en dos moléculas de piruvato de tres carbonos. El producto neto de este proceso son dos moléculas de ATP y dos de NADH + H⁺.

¿Qué le sucede al piruvato y al NADH?

Al final de la glucólisis nos quedan dos moléculas de ATP, dos de NADH y dos de piruvato. Si hay oxígeno presente, el piruvato se puede degradar (oxidar) hasta dióxido de carbono en la respiración celular y así obtener más moléculas de ATP.

¿Qué pasa con el NADH? No puede solo estar por ahí en la célula, acumulándose. Eso es porque las células solo tienen un cierto número de moléculas de NAD que va y regresa entre sus estados oxidado y reducido NADH.

La glucólisis necesita NAD para aceptar electrones durante una reacción específica. Si no hay NAD disponible (porque todo está en forma de NADH), esta reacción no puede ocurrir y la glucólisis se detiene. En consecuencia, todas las células necesitan una forma de convertir NADH en NAD para mantener la glucólisis andando.

Principalmente, hay dos formas de lograr esto. Cuando hay oxígeno presente, el NADH puede donar sus electrones a la cadena de transporte de electrones y así regenerar NAD + para usar en la

glucólisis. Bajo este proceso también se produce un poco de ATP.

En ausencia de oxígeno, las células pueden usar otras vías más simples para regenerar NAD. En dichas vías, el NADH dona sus electrones a una molécula aceptora en una reacción que no genera ATP y la glucólisis puede continuar. Este proceso se llama fermentación. La fermentación es una de las principales estrategias metabólicas de muchas bacterias —incluyendo nuestra amiga de la introducción, *Lactobacillus acidophilus*. Incluso algunas células del cuerpo, como los glóbulos rojos, dependen de la fermentación para generar su ATP.

PARTE II.

Descarboxilación oxidativa del piruvato

Cuando existe una adecuada provisión de oxígeno, el piruvato producido durante la glucólisis en el citosol es oxidado hasta dióxido de carbono y agua para obtener una importante cantidad de energía. Para ello debe ingresar a la mitocondria, atravesando la membrana interna de esta organela, gracias a un transportador que lo introduce en la matriz.

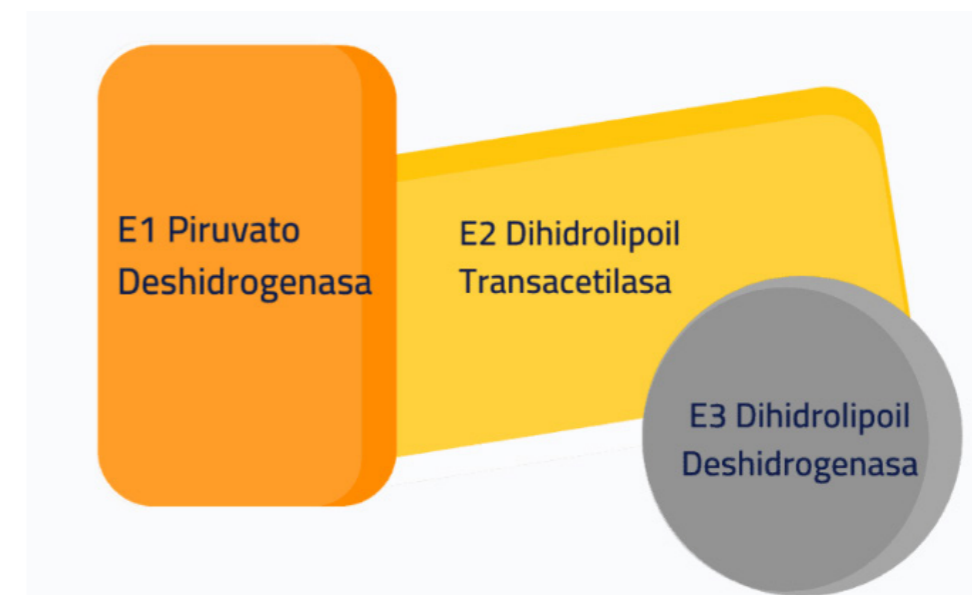
Ahí se produce la descarboxilación oxidativa del piruvato. La reacción es irreversible y sería:



Esta se lleva a cabo por un complejo enzimático denominado **COMPLEJO PIRUVATO DESHIDROGENASA**.

Este complejo está formado por 3 enzimas y varios co-factores:

- E1: Piruvato Deshidrogenasa.
- E2: Dihidrolipoil Transacetilasa (produce transferencia de grupos acetilo).
- E3: Dihidrolipoil Deshidrogenasa.



Los cofactores son 5: NAD, pirofosfato de tiamina TPP, ácido lipoico, FAD y Coenzima A Coa-SH.

Oxidación del piruvato		
$\begin{array}{c} \text{O}^- \text{ 1} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Piruvato</p>	$\begin{array}{c} \text{CoA-SH} \\ \xrightarrow{\text{2}} \\ \text{NAD}^+ \rightarrow \text{NADH} + \text{H}^+ + \text{CO}_2 \end{array}$ <p>Reacción de oxidación</p>	$\begin{array}{c} \text{S-CoA} \text{ 3} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Acetil CoA</p>
<p>1</p> <p>Se elimina grupo carboxilo del piruvato, liberando dióxido de carbono</p>	<p>2</p> <p>NAD⁺ se reduce a NADH.</p>	<p>3</p> <p>Grupo acetilo se transfiere a coenzima A, y resulta acetil CoA</p>

Esquema de la descarboxilación oxidativa del piruvato

La molécula de Acetil -CoA formada puede ingresar al Ciclo de Krebs para completar la oxidación completa de dicha molécula y, así, obtener moléculas de energía y moléculas con poder reductor (NADH y FAH₂) que van a llegar a la cadena de electrones.

PARTE III.

Ciclo de Krebs

El ciclo de Krebs es una ruta metabólica cíclica que oxida completamente el Acetil-CoA (molécula fundamental en el metabolismo energético) liberando energía en forma de GTP (similar al ATP), NADH y FAH₂, moléculas transportadoras de poder reductor que luego cederán electrones a la cadena respiratoria de electrones para obtener aún más ATP.

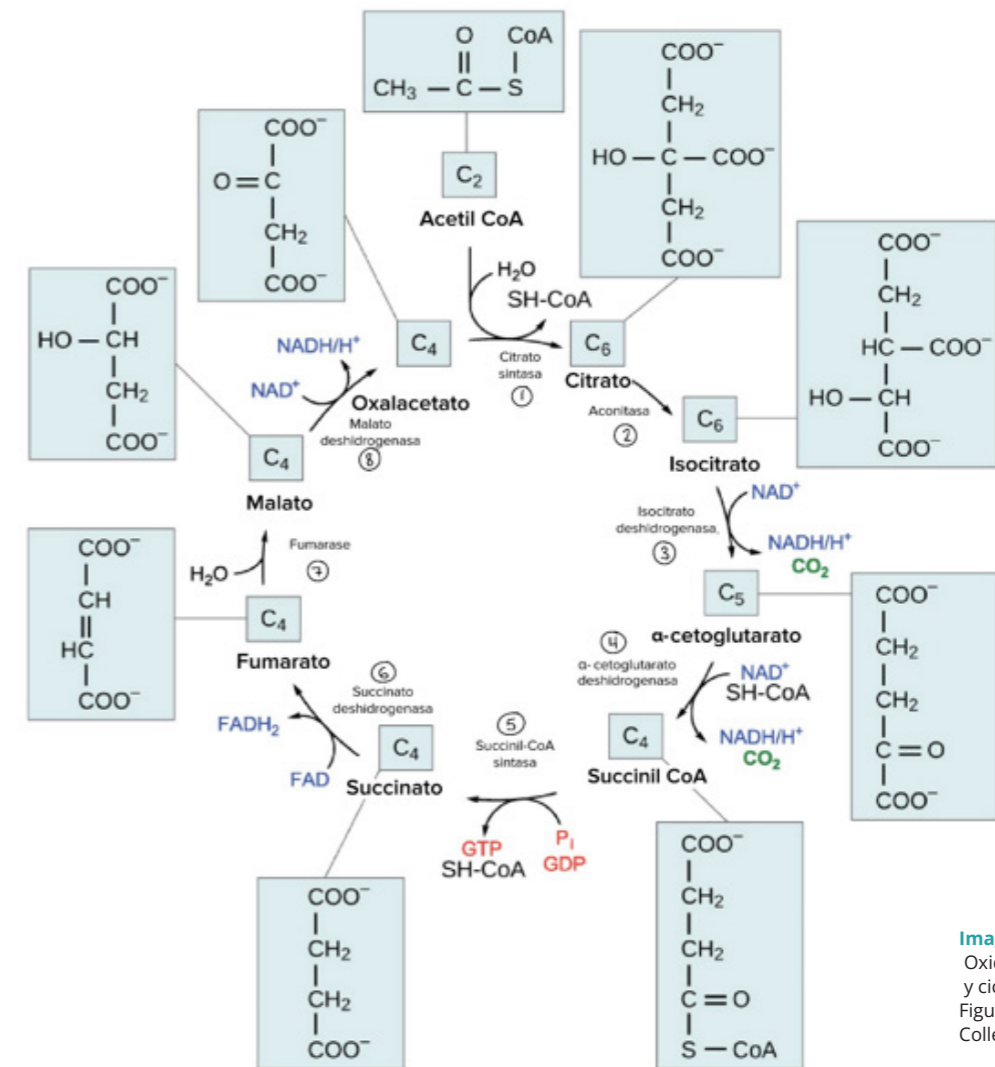
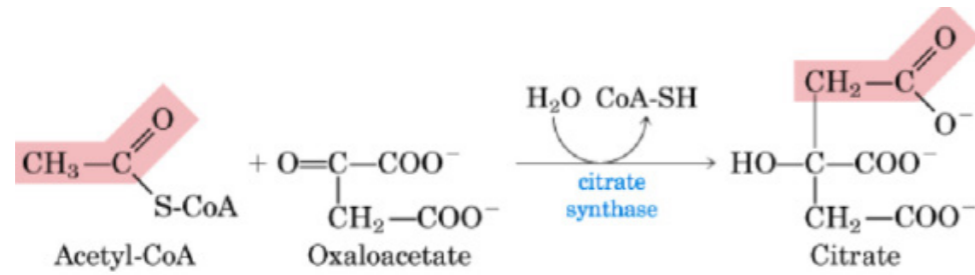


Imagen 42: Oxidación de piruvato y ciclo del ácido cítrico: Figura 2" de OpenStax College, Biología.

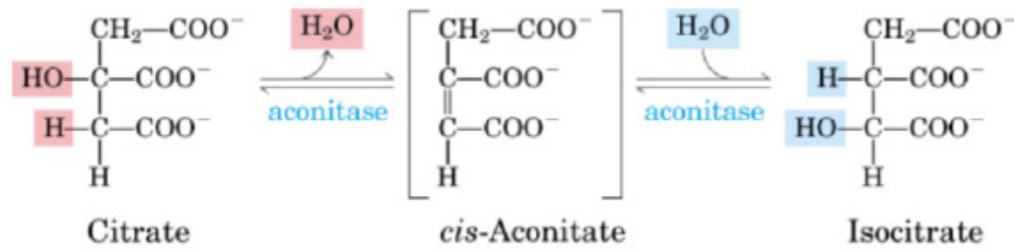
EL Acetil-CoA es el resultado final del catabolismo inicial que producen todos los nutrientes (glúcidos a través del piruvato como intermediario), grasas y proteínas.

El ciclo de Krebs consta de 8 pasos

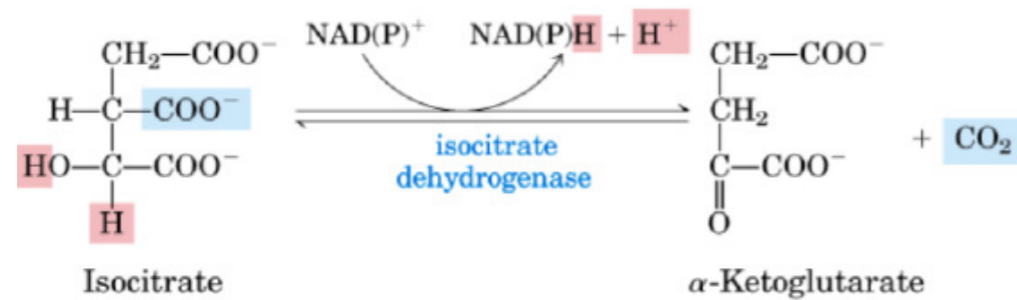
Paso 1:



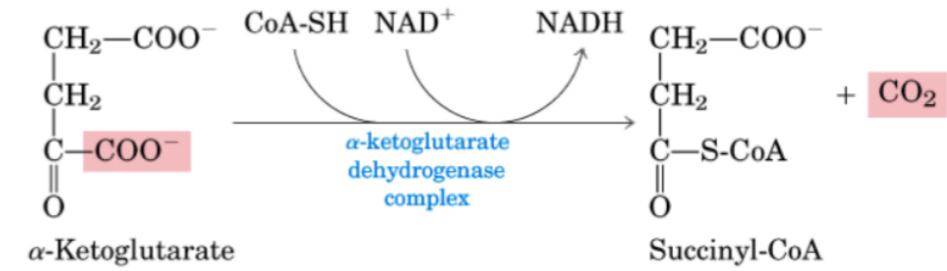
Paso 2:



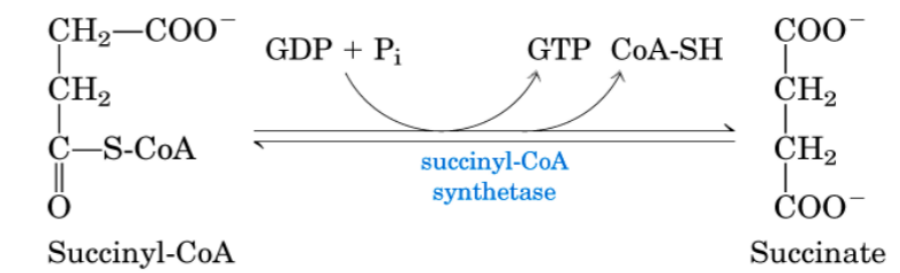
Paso 3:



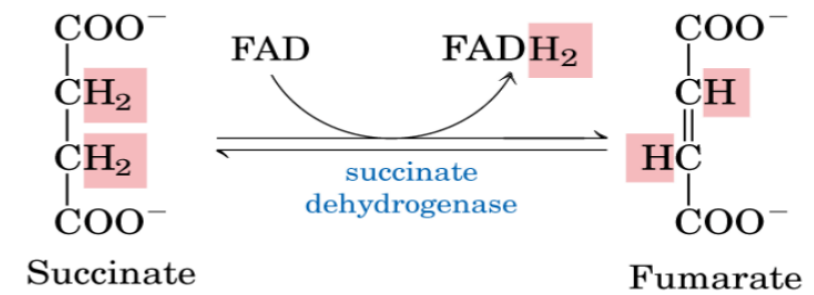
Paso 4:



Paso 5:



Paso 6:



Paso 7:

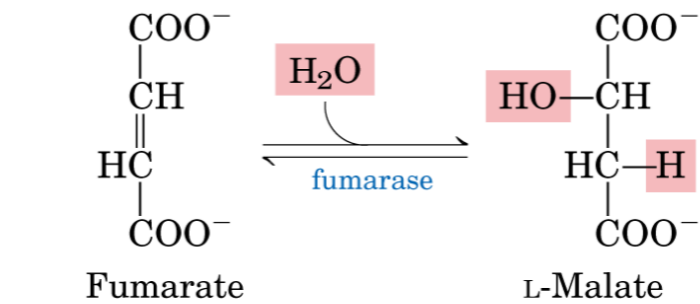


Imagen 43: Oxidación de piruvato y ciclo del ácido cítrico: Figura 2" de OpenStax College, Biología.

Enzimas del ciclo de Krebs

En total hay 8 enzimas que participan en el Ciclo de Krebs:

- 1- Citrato Sintasa: une el oxalacetato con el Acetil-CoA para formar citrato.
- 2- Aconitasa: convierte el citrato en isocitrato.
- 3- Isocitrato Deshidrogenasa: oxida el isocitrato para formar el alfa-cetoglutarato (se libera el primer CO₂) NADH.
- 4- Alfa-cetoglutarato Deshidrogenasa; descarboxila el alfa-cetoglutarato para formar el succinil-CoA (se libera el segundo CO₂) NADH.
- 5- Succinil-Tioquinasa: hidroliza el Succinil-CoA formando el succinato y se produce una fosforilación a nivel de sustrato dando una molécula de GTP.
- 6- Succinato Deshidrogenasa: oxida el succinato para formar fumarato FAH₂.
- 7- Fumarasa: hidroliza el fumarato formando malato.
- 8- Malato Deshidrogenasa: oxida el malato y regenera el oxalacetato NADH.

Consideraciones importantes

El ciclo de Krebs se puede separar en 2 fases. La primera hasta el paso 4 es la fase de oxidación donde se liberan los 2 CO₂. Y la segunda fase, a partir del paso 5, donde se regenera el OAA para poder reiniciar el ciclo.

El ciclo de Krebs se considera un CICLO ANFIBÓLICO porque si bien es catabólico por oxidar completamente el acetyl CoA, también es anabólico porque algunos intermediarios son precursores de rutas biosintéticas.

Productos del Ciclo de Krebs

Por cada ciclo se forman:

- una molécula de GTP (ATP);
- tres moléculas de NADH;
- una molécula de FAH₂;
- dos moléculas de CO₂.

Pero, si consideramos que en la glucólisis se forman 2 piruvatos y, por ende, 2 Acetil-CoA, esto se debería multiplicar por 2.

Entonces, tendríamos 2 GTP, 3 NADH, 2 FAH₂ y se liberarían 4 CO₂.

Producción energética del Ciclo de Krebs

El objetivo final del Ciclo de Krebs es la producción de energía; sin embargo, en todo el ciclo únicamente se produce una molécula de GTP o ATP.

La mayor producción de energía en realidad se logra mediante la producción de NADH y FADH.

Cada molécula de NADH que pasa a la cadena respiratoria y es oxidada produce 3 ATP, mientras que cada molécula de FADH produce 2 ATP.

De forma que por cada molécula de Acetyl CoA que es oxidada en el Ciclo de Krebs se producen **3 NADH** y **1 FADH**, lo que da lugar a 12 ATP en la cadena respiratoria ($3 \text{ NADH} \times 3 = 9 + 1 \text{ FADH} \times 2 = 2 + 1 \text{ GTP/ATP} = 12 \text{ ATP}$). Por ende, por cada molécula de Glucosa que logra llegar al Ciclo de Krebs y posterior oxidación en la cadena respiratoria se producen **24 ATP**.

Si consideramos el proceso desde la glucólisis aeróbica, se produce al final de la cadena de electrones un total de **36 ATP** (desglosado así, 2 ATP netos de la glucólisis 4 ATP, proveniente de NADH de glucólisis y 6 ATP, proveniente de NADH de la descarboxilación oxidativa del piruvato).

PARTE IV.

Cadena de electrones y fosforilacion oxidativa.

Transporte de Electrones en el Ciclo de la Energía de la Célula

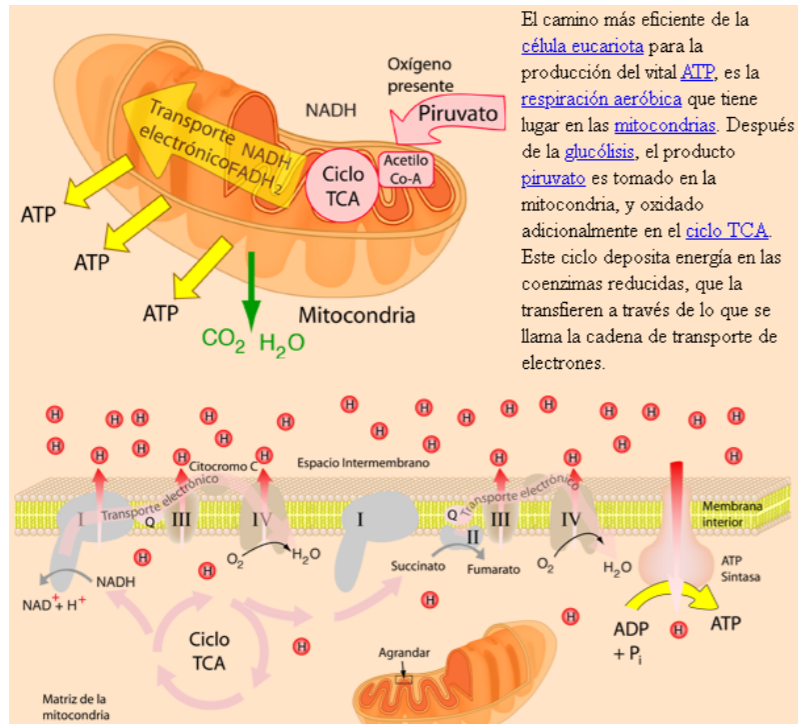


Imagen 44: Hyperphysics Biología.

Sistemas Acoplados: la Cadena de Transporte de Electrones y la Fosforilación oxidativa

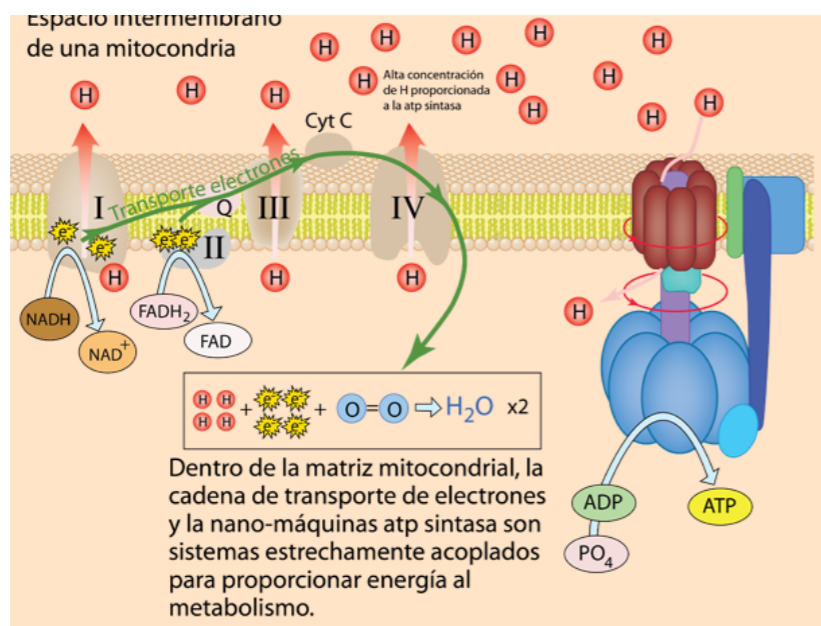


Imagen 45: Hyperphysics Biología.

04.

PARTE I. LA MITOCONDRIA

Concepto

La mitocondria es una organela que se vincula con la energética celular.

Debemos recordar qué rutas metabólicas, que se llevaban a cabo en la mitocondria en forma total o parcial, estudiamos en Bioquímica.

Mitocondria

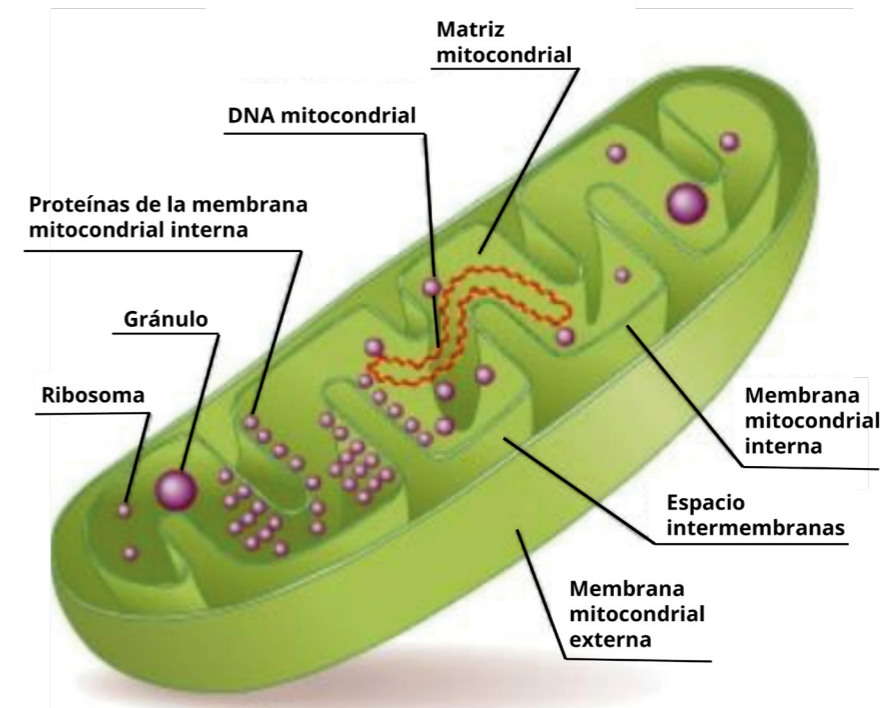
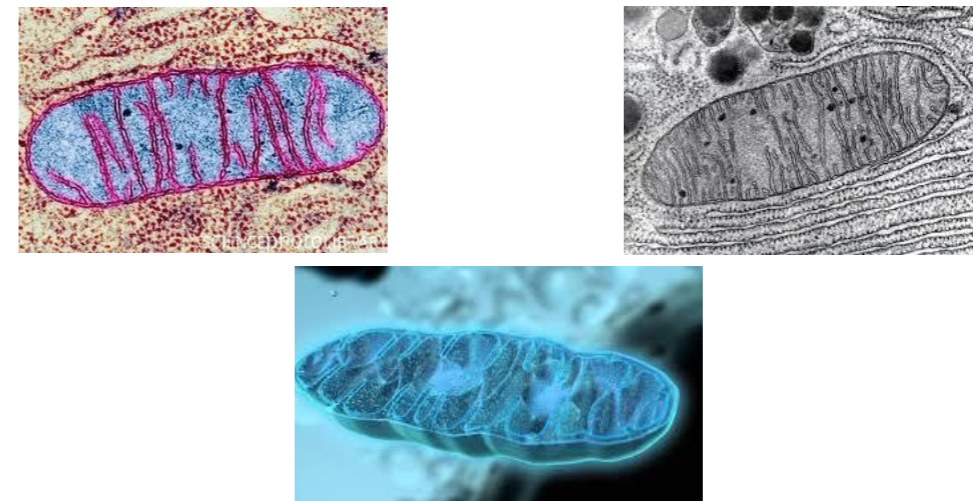
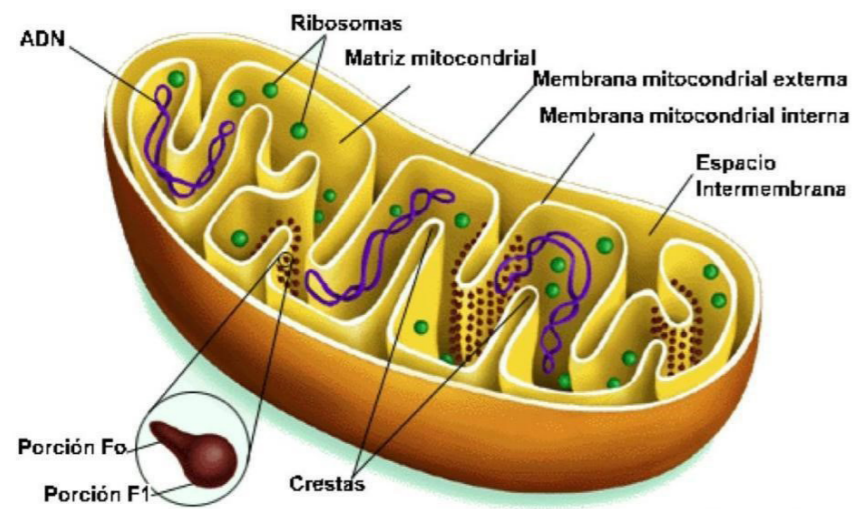


Imagen 46:
Hyperphysics Biología.

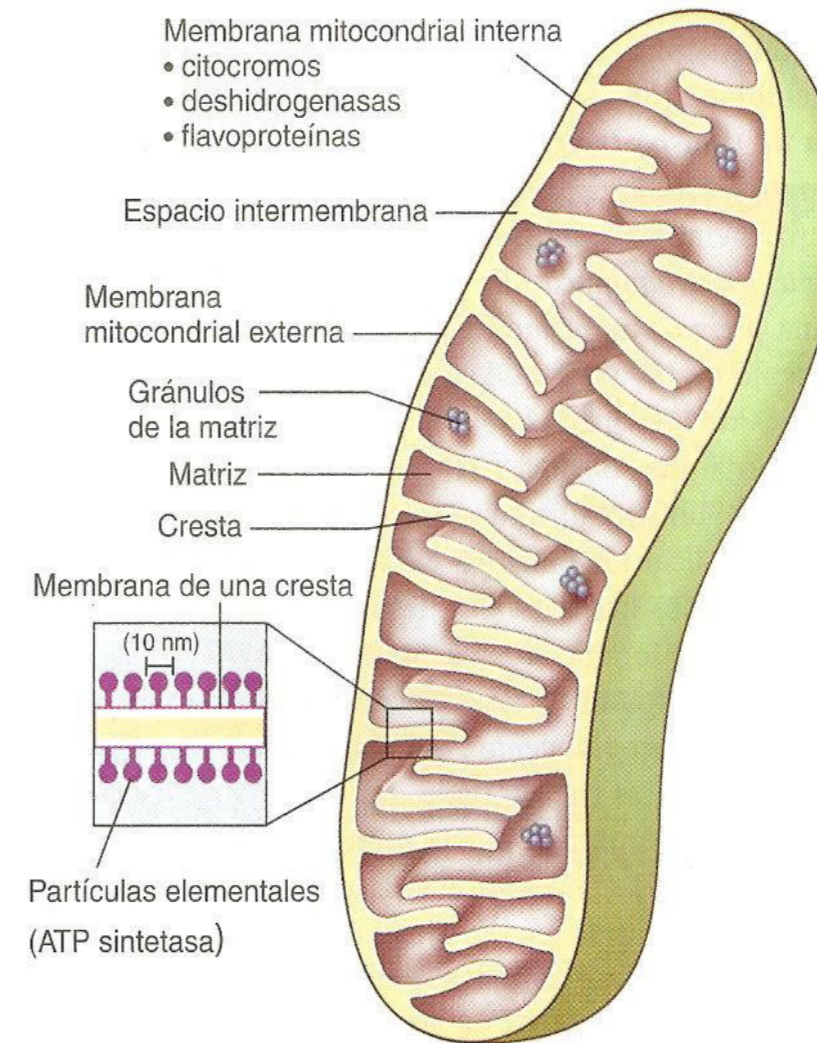
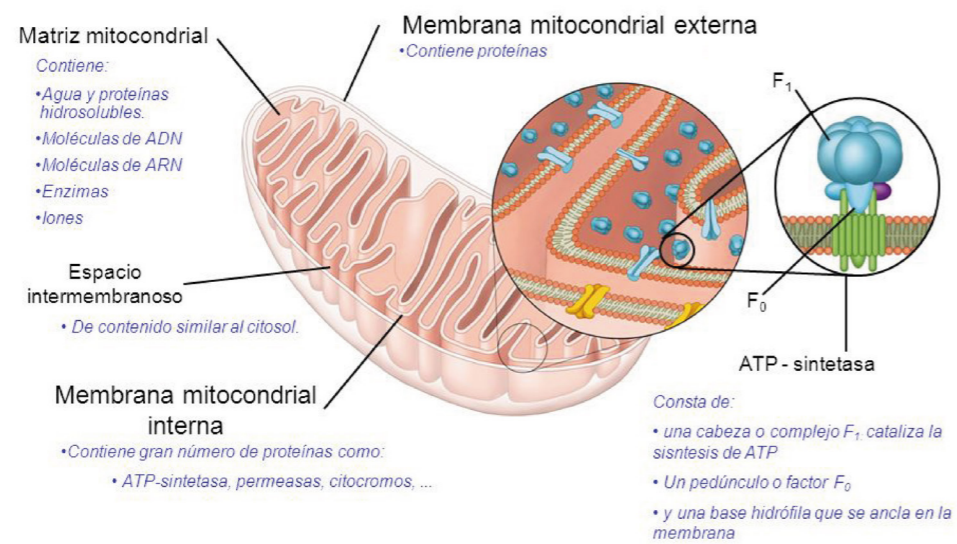


Las mitocondrias son organelas dotadas de gran plasticidad. Surgen por bipartición, al igual que las células procariotas, y crecen, variando su forma de acuerdo a las funciones coyunturales que deban desarrollar. Autogestionan parte de sus recursos, aunque son comandadas por la información genética de la célula que habitan. Varias imágenes de su ultraestructura permitirán comprender la trascendencia funcional de esta organela.

Imagen 47:
R.G. Herrmann - Organelas.



Ultraestructura de una mitocondria



FUNCIONES DE LAS MITOCONDRIAS

- La función de las mitocondrias consiste en obtener energía para la célula.
- Esta función se realiza por una parte en la matriz mitocondrial y por otra en la membrana interna.
- **En la matriz:**
 - Descarboxilación oxidativa del ácido pirúvico.
 - Formación de acetil-CoA y moléculas reducidas (NADH y $FADH_2$)
 - β Oxidación de Ácidos grasos.
 - Ciclo de Krebs (Oxidación de Acetil CoA a CO_2 y producción de moléculas reducidas).
 - Síntesis de proteínas mitocondriales.
 - Replicación de ADN mitocondrial
- **En la membrana mitocondrial interna:**
 - Fosforilación oxidativa (síntesis de ATP gracias a la intervención de una cadena transportadora de electrones)

MITOCONDRIAS

FUNCIONES.

En la matriz.-
 ciclo de Krebs
 β oxidación de ácidos grasos
 Descarboxilación del ácido pirúvico
 formación de NADH y FADH
 Formación componentes mitocondriales

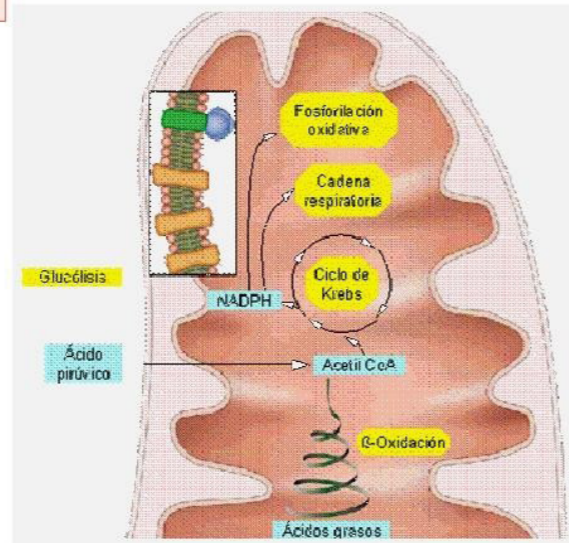


Imagen 48:
Sistemas Internos de membrana. Mitocondrias

FUNCIONES MITOCONDRIA

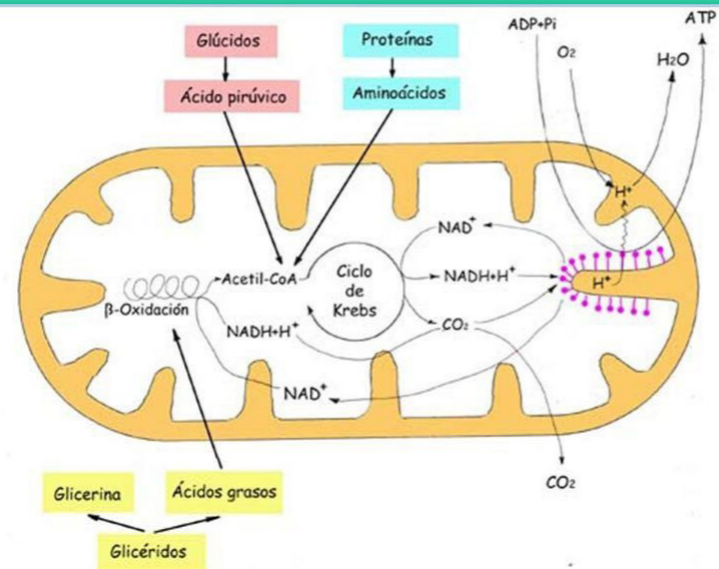


Imagen 49:
Juntada de Andalucía. Catabolismo

PARTE II.

Organela fotosintética. El cloroplasto.

Organelas especializadas en la fotosíntesis

Estas organelas se denominan CLOROPLASTOS y son las que contienen todo el aparato fotosintético.

A nivel macroscópico, las hojas son el órgano vegetal especializado en la fotosíntesis. Los cloroplastos son organelas separadas del citosol celular por una doble membrana.

Los cloroplastos son semiautónomos, poseen su propio DNA que codifica algunas de sus proteínas, así como los ribosomas para la traducción de los RNA, mensajeros adecuados. Los cloroplastos han evolucionado a partir de organismos unicelulares similares a las cianobacterias (algas azul-verdosas). Algunos genes de los cloroplastos están codificados en el genoma de la organela; y otros, en el núcleo de la célula. La estructura interna de un cloroplasto se parece a la de una mitocondria.

La membrana externa es bastante permeable y rodea a la membrana interna cuya permeabilidad es más selectiva. Está en conexión con un sistema membranoso llamado tilacoides o membranas tilacoides, que forman un sistema intrincado de membranas que se pliegan a modo de láminas paralelas de dobles membranas que se denominan lamelas. Existen dos tipos de lamelas: las lamelas grana, que son apilamientos de numerosas láminas a modo de discos; y las lamelas estromáticas, que son más simples y extensas e interconectan zonas de lamelas apiladas.

Las lamelas grana y estromáticas, al estar formadas por dobles membranas tilacoidales plegadas, dejan un espacio acuoso en su interior denominado lumen, que queda separado del espacio acuoso interno general del cloroplasto, llamado estroma. El estroma es la matriz acuosa principal del cloroplasto, y ocupa el mayor volumen.

La división del trabajo dentro de un cloroplasto es sencilla. La absorción de la luz y todas las reacciones luminosas se producen dentro de las membranas tilacoides o sobre ellas. El ATP y el NADPH producidos por estas reacciones se liberan al estroma circundante, en el que se producen todas las reacciones oscuras de síntesis. Existen

analogías en la estructura y el cometido de la matriz mitocondrial y del estroma de los cloroplastos, y entre la membrana interna de la mitocondria y la membrana tilacoide del cloroplasto. Se realiza un tipo de generación quimiosmótica de ATP muy similar a través de estas membranas, tanto en las mitocondrias como en los cloroplastos.

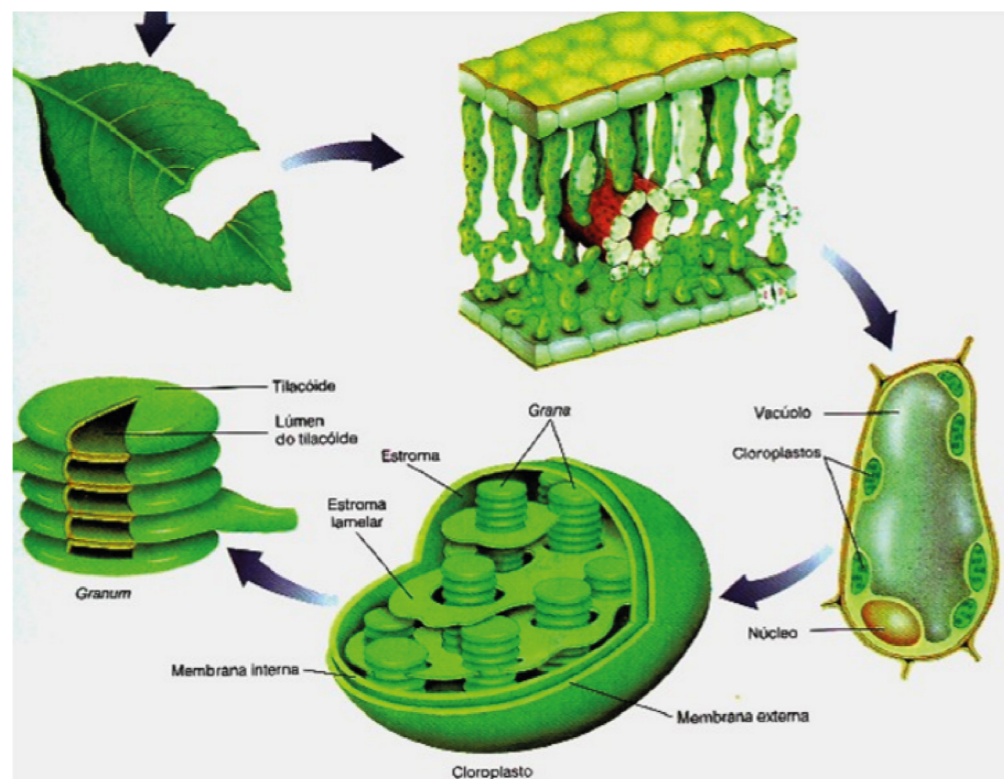


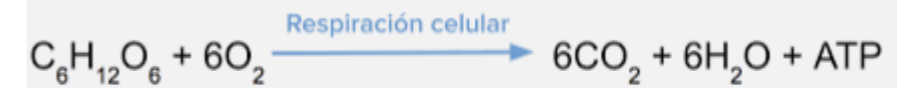
Imagen 50:
Portal Frutícola.
Los cloroplastos y su
ubicación celular

05.

COMPARACIÓN ENTRE RESPIRACIÓN CELULAR Y FOTOSÍNTESIS

Desde el punto de vista químico, la respiración celular es la producción de energía por descarboxilación oxidativa de nutrientes. Por el contrario, la fotosíntesis sería una carboxilación reductiva de los sustratos inorgánicos. La energía necesaria para formar enlace C-C y la reducción proviene de la radiación solar.

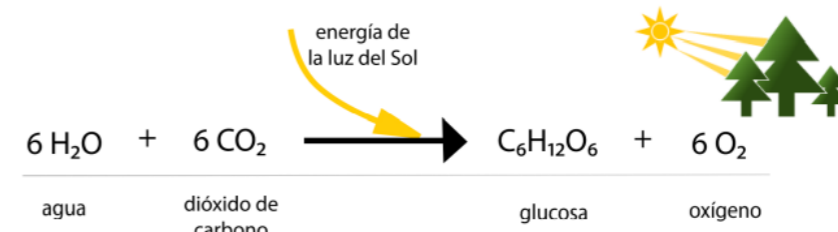
Respiración celular aeróbica



En estas rutas (glucólisis, descarboxilación oxidativa, ciclo de Krebs, cadena respiratoria de electrones y fosforilación oxidativa), un monosacárido relativamente complejo, que preserva en sus enlaces C-C energía potencialmente aprovechable, se oxidará a 2 moléculas inorgánicas sencillas, liberando la energía.

“DESCARBOXILACIÓN OXIDATIVA DE NUTRIENTES”

Fotosíntesis



En fotosíntesis podemos resumir el proceso en esta ecuación bioquímica.

En esta, moléculas inorgánicas se transforman en glucosa (un monosacárido de fácil aprovechamiento energético y eventualmente un sustrato estructural) y O₂ (en plantas superiores), utilizando para tal fin la Energía Solar.

“CARBOXILACIÓN REDUCTIVA DE SUSTRATO INORGÁNICOS”

Integrando ambos procesos podríamos representarlos en la siguiente reacción:

Imagen 51:
Porta Frutícola - Respiración celular.

Imagen 52:
Porta Frutícola - Fotosíntesis.

Bibliografía

Libros de texto

- Baynes, J. W., Dominiczak, M. H. (2014). *Bioquímica médica (4ta ed.)*. Elsevier. España.
- Blanco, A., Blanco, G. (2016). *Química biológica (10a ed.)*. El Ateneo. Buenos Aires.
- Boyer, R. (2000). *Conceptos en Bioquímica*. International Thomson. Editores México.
- Nelson, D. L., Cox, M. M. (2009). *Lehninger. Principios de bioquímica (5ta ed.)*. Ed. Omega. Barcelona.
- Feduchi Canosa, E., Romero M. C., Yáñez Conde, E., Blasco C. I., García-Hoz J. C. (2015). *Bioquímica: conceptos esenciales (2da ed.)*. Ed. Médica Panamericana. España.

Trabajos monográficos, Publicaciones y Páginas web.

- Dra. Segretti, Ma. E. *Fotosíntesis. Capacitación a distancia en Bioeconomía-Argentina*. Ministerio de Agricultura, Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Productiva. Presidencia de la Nación. [archivo PDF].<http://Agrobiotecnologia.FBMC>.
- Sotelo, Ailin. 2014. *Fotosíntesis. Cátedra de Fisiología Vegetal. Guía de Estudio*. Facultad de ciencias exactas y naturales-agrimensura. <https://docplayer.es>40801624>
- Ing. Labarthe. F. e Ing. Arg. Pelta. *Introducción básica a la fotosíntesis y características de especies forrajeras megatérmicas*. Centro Regional Buenos Aires sur. INTA. Bahía Blanca [https:// documento.com](https://documento.com).

 UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
RAFAELA


Ediciones

