

Energía



Fabrizio Marcillo Morla MBA

barcillo@gmail.com
(593-9) 4194239



Fabrizio Marcillo Morla

- Guayaquil, 1966.
- BSc. Acuicultura. (ESPOL 1991).
 - Magister en Administración de Empresas. (ESPOL, 1996).
- Profesor ESPOL desde el 2001.
- 20 años experiencia profesional:
 - ◆ Producción.
 - ◆ Administración.
 - ◆ Finanzas.
 - ◆ Investigación.
 - ◆ Consultorías.

Otras Publicaciones del mismo autor en Repositorio ESPOL

Bio-enérgetica

- Una provisión constante de energía es requerida por todos los animales para mantener la vida
- Fuentes: Alimento consumido, productividad natural, reservas corporales (tiempos de stress ambiental o ayuno)
- Objectives: Cuanta energía es requerida por organismos acuáticos, como esta varía de los terrestres, cuales son sus fuentes, como es particionada la energía para sus varios usos

Bio-Energética

- El catabolismo del alimento esta organizado en los organismos acuáticos para obtener energía química para la síntesis (anabolismo) y otras funciones metabólicas
- Alimentación, crecimiento y producción pueden ser descritas por la partición de energía
- El resultado final de la partición de energía es la energía disponible para el crecimiento
- Esta determinada por el balance entre el anabolismo y el catabolismo

Bio-Energética

- Energética: es el estudio de los requerimientos energéticos y los flujos de energía dentro de los sistemas
- Bio-Energética: es el estudio en los animales del balance entre la energía ingerida en forma de alimento y la utilización de energía para procesos de manutención de la vida
- Que procesos?: síntesis de tejidos, osmoregulación, digestión, respiración, reproducción, locomoción, etc.

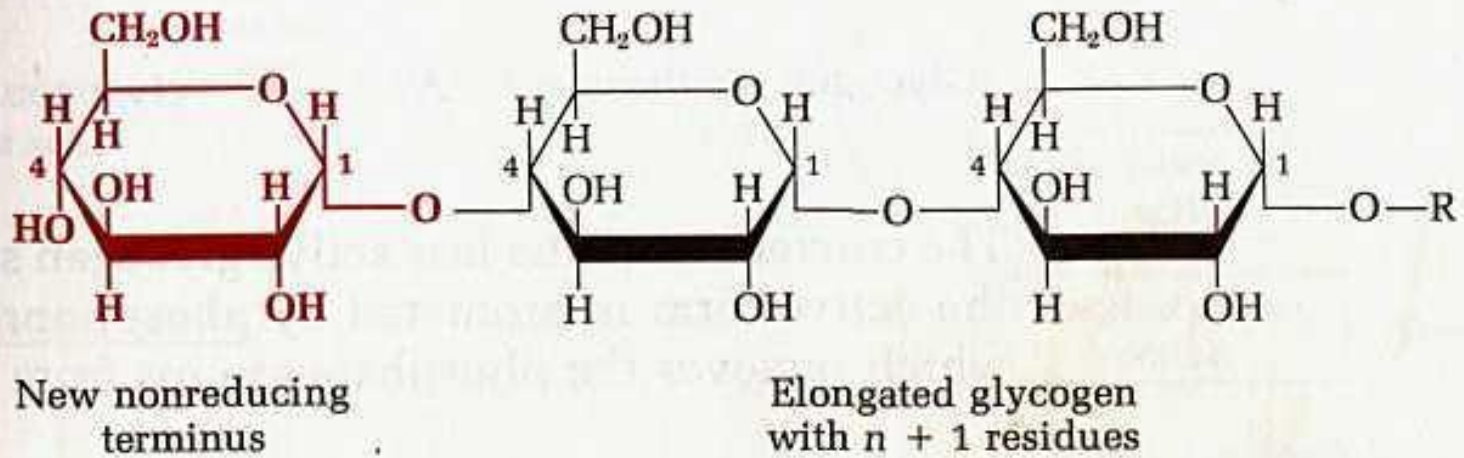
Intercambio de Energía en Sistemas Biológicos

- Primera ley de la termodinámica: conservación de la energía: energía total (E), de un sistema permanece constante a no ser que haya un ingreso de energía.
- Permanece igual, pero puede ser transferida de un lugar a otro, o ser transformada (e.g., energía química a calor)
- Todos los organismos biológicos necesitan energía del medio ambiente para sostener sus procesos vitales
- Los autótrofos obtienen energía del sol o reacciones inorgánicas, heterótrofos al romper moléculas orgánicas obtenidas del medio externo.

Intercambio de Energía en Sistemas Biológicos

- La fuente original de energía es el sol
- La energía del sol es transformada por la fotosíntesis para la producción de glucosa
- La glucosa es la fuente de la cual las plantas sintetizan otros compuestos orgánicos como carbohidratos, proteínas y lípidos
- Los animales deben obtener su energía de los enlaces químicos de las moléculas complejas
- Como lo hacen? Oxidan estos enlaces a estados de menor energía usando oxígeno del aire
- Truco: algunos enlaces tienen mas energía que otros

Molécula de Glicógeno



Principal forma de almacenamiento de energía de COH

Molécula de Lípido

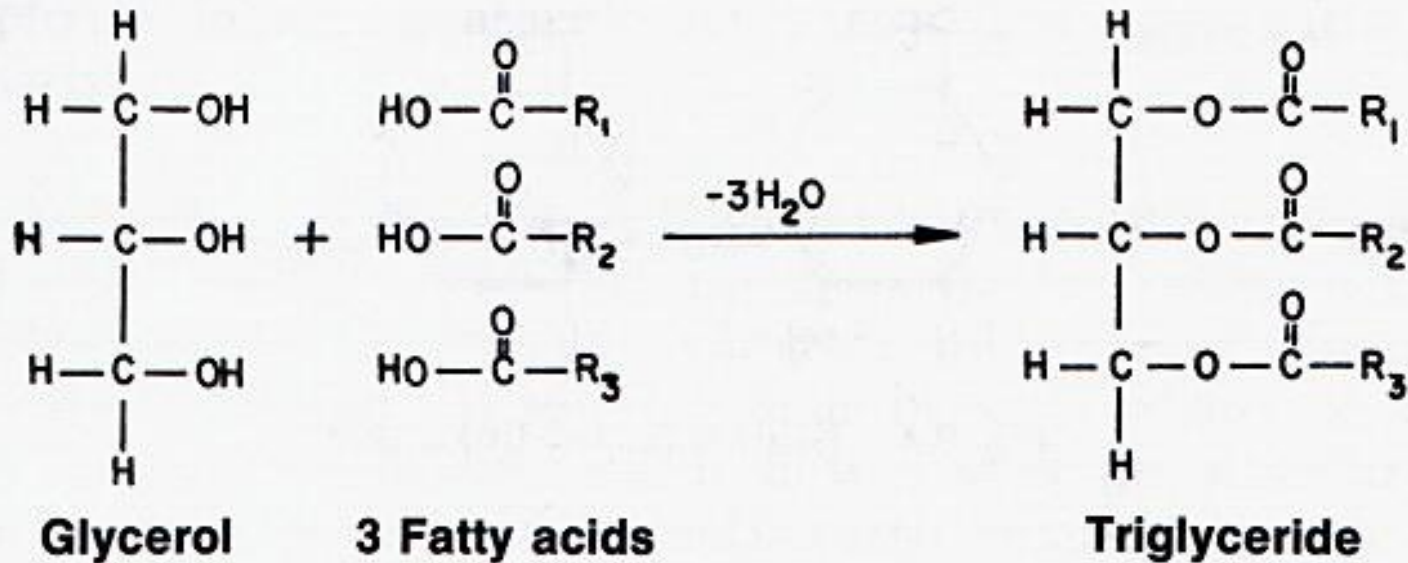


Fig. 2.6. Lipids.

Otra fuente principal de
almacenamiento

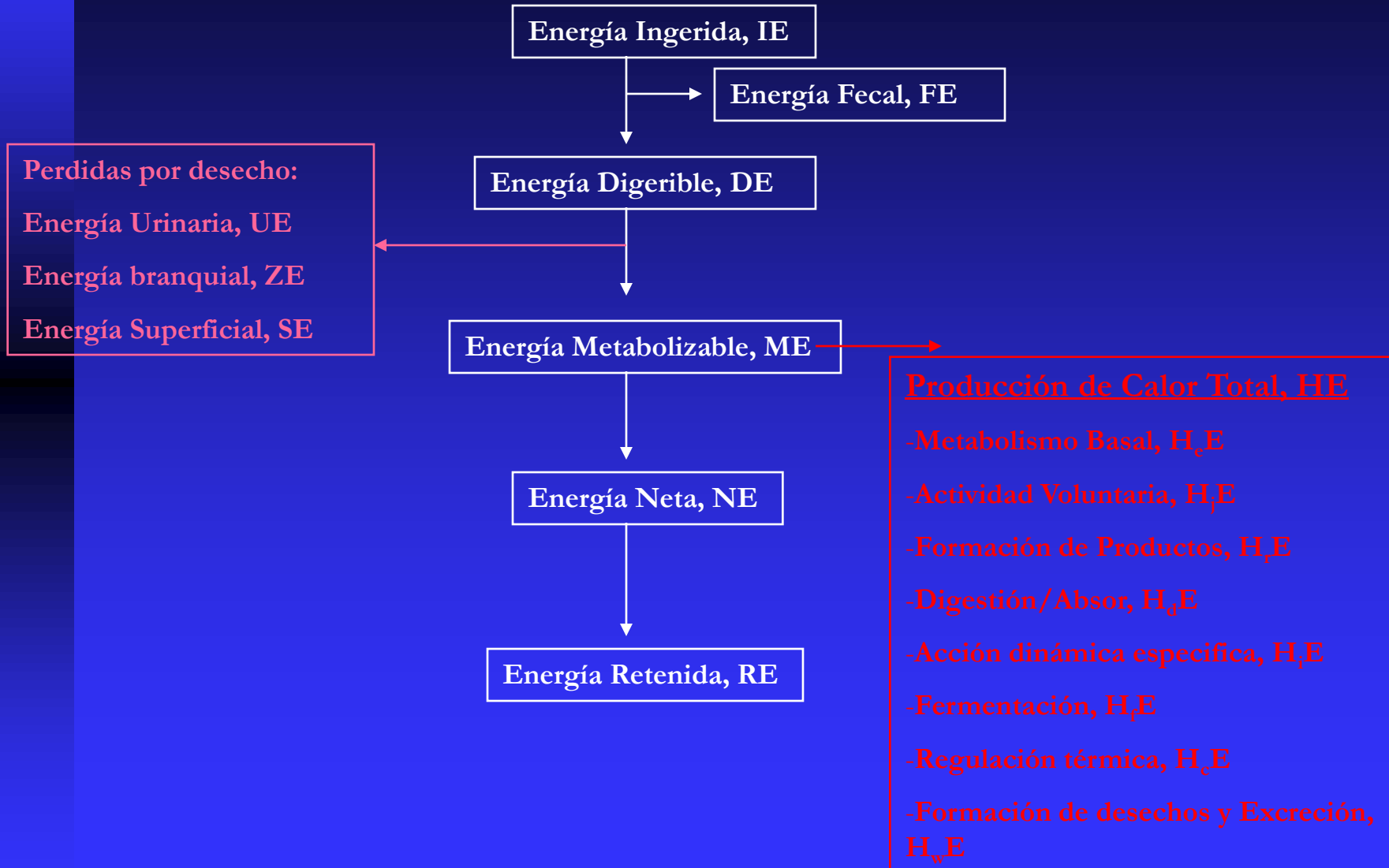
Unidades de Energía

- La unidad básica de energía es la caloría (cal)
- Es la cantidad de energía calórica necesaria para subir la temperatura de 1g de agua 1 grado Celsius (de 14.5 a 15.5oC)
- Es una unidad tan pequeña que la mayoría de los nutricionistas prefieren usar la kilocaloría (kcal o 1,000 calorías)
- La kcal es mas común (es lo que lees en las etiquetas del supermercado como Calorías)

Unidades de Energía

- BTU (British Thermal Unit) = Cantidad de energía requerida para subir a 1 lb de agua 1oF
- Unidad internacional : El joule - 1.0 joule = 0.239 calorías o 1 caloría = 4.184 joule
- Un joule (J) es la energía requerida para acelerar una masa de 1kg a una velocidad de 1m/seg una distancia de 1m

Esquema de Partición de Energía



Términos de Energía

- Energía Bruta (GE): energía liberada como calor por combustión (kcal/g)
- Energía Ingerida (IE): Energía consumida en alimento (COH, lípidos, proteína)
- Energía Fecal (FE): Energía bruta de heces (alimento no digerido, productos metabólicos, células epiteliales intestinales, enzimas digestivas, productos excretorios)
- Energía Digerible (DE): $IE - FE$

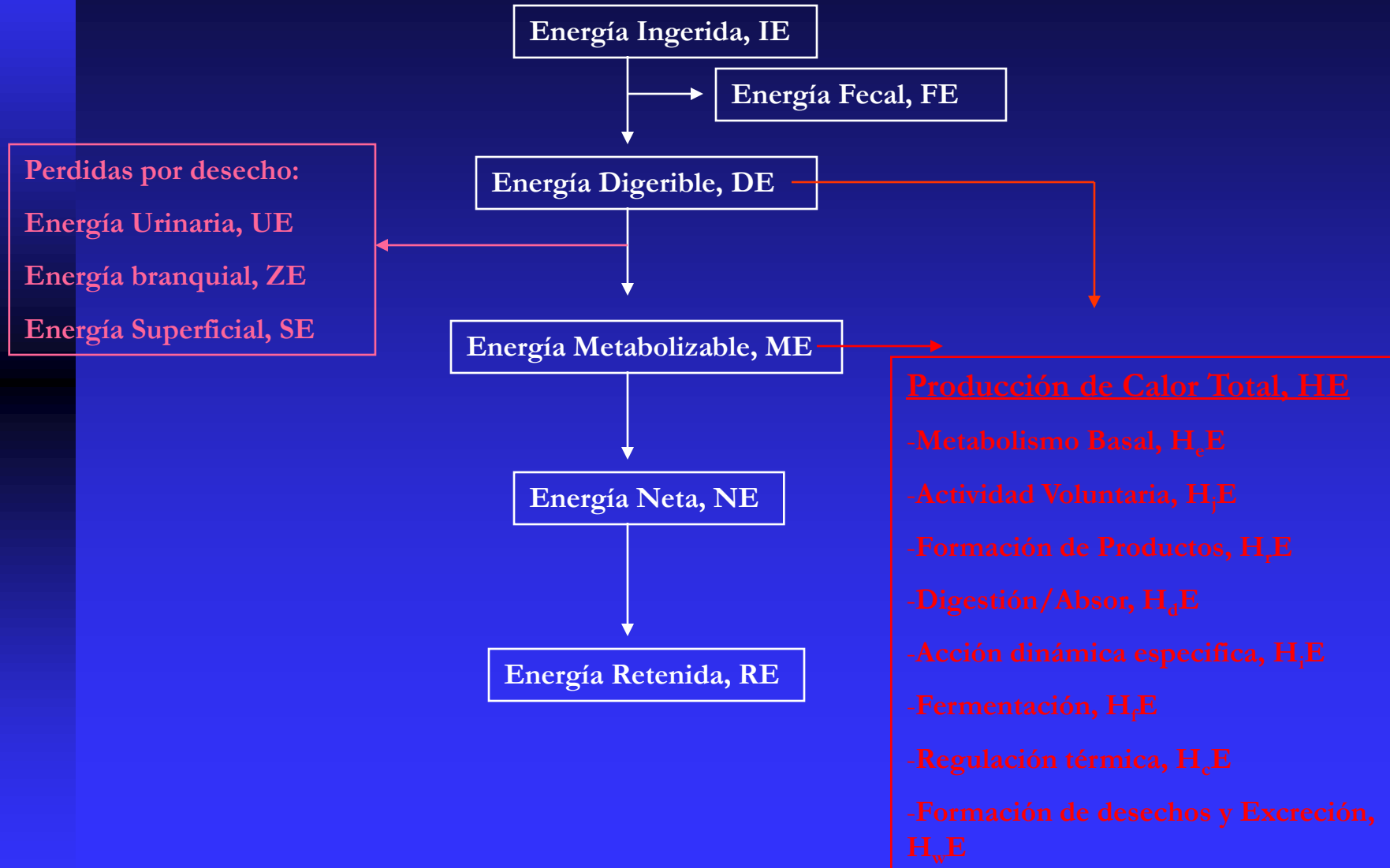
Términos de Energía

- Energía Metabolizable (ME): Energía en el alimento menos las pérdidas en heces, orina, superficie y excreción branquial:
- $ME = IE - (FE + UE + ZE + SE)$
- Energía urinaria (UE): Pérdida total de energía por productos urinarios de compuestos ingeridos no usados y productos metabólicos
- Energía de excreción branquial (ZE): Pérdida total de energía en productos excretados a través de las branquias (pulmones en mamíferos terrestres), alta en peces
- Energía Superficial (SE): Energía perdida por muda de exoesqueleto, escamas o mucus

Términos de Energía

- Producción total de Calor (HE): energía generada en forma de calor, alguna perdida
- Fuente de calor es el metabolismo, entonces, HE es un estimado del ritmo metabólico
- Medido como cambio en temperatura (calorímetro) o ritmo de consumo de oxígeno
- Dividido en un numero de constituyentes
- Como se ve en el diagrama de flujo de energía
→→

Esquema de Partición de Energía



Producción total de Calor

- **Metabolismo Basal (HeE):** Energía calórica liberada por actividad celular, respiración, circulación, etc.
- **Actividad Voluntaria (HjE):** Calor producido por actividad muscular (locomoción, mantener posición en agua, etc)
- **Calor de Regulación Térmica (HcE):** Calor producido para mantener temperatura corporal (sobre zona de neutralidad térmica, bajo en poikilotérmicos)
- **Calor de formación de desechos (HwE):** Calor asociado con producción de productos de desecho
- **Acción Dinámica específica (HiE):** aumento en producción de calor después de consumo de alimento (resultado de metabolismo), varía con contenido energético de alimento, especialmente proteína

Utilización de Energía

- Toma de energía es dividida entre todos los procesos que la requieren
- Magnitud de cada uno depende de cantidad de ingestión y la habilidad del animal para digerir y utilizar dicha energía
- Puede variar por modo de alimentación: carnívoros vs. herbívoros

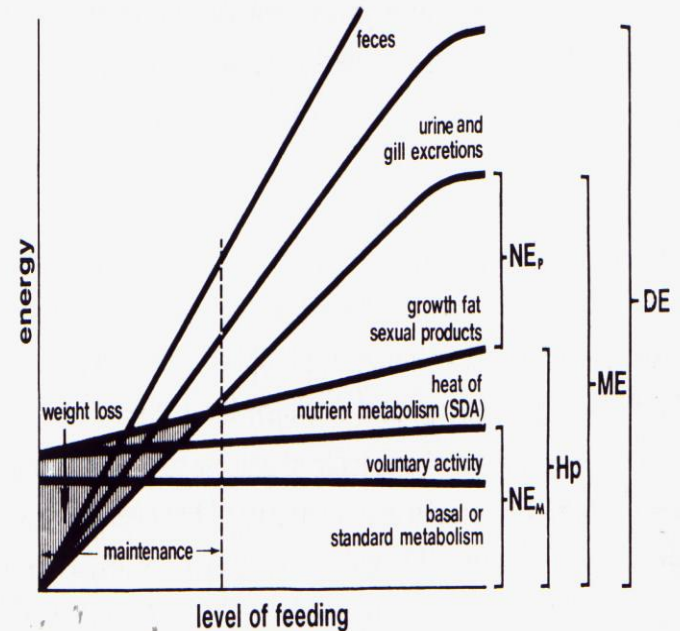


FIG. 1.2

Energy intake and distribution among energy-requiring processes. (From Smith, *In* "Studies on the Energy Metabolism of Cultured Fishes", 1976 Thesis, Cornell University.)

Metabolismo Mínimo Hef

- Metabolismo mínimo es medido como producción de calor en ayuno, Hef o metabolismo estándar
- Necesario para mantener vida
- Mayoría gastado en metabolismo basal, HeE
- Porción menor en actividad voluntaria
- Usado para circulación sanguínea, ventilación pulmonar, reparación y reemplazo de células
- Energía liberada en estos procesos aparece como calor
- Diferentes cantidades en diferentes animales, pero debe ser determinada bajo condiciones estandarizadas

Metabolismo Mínimo

- Difícil de medir: animales deben estar sin moverse
- Método aceptado: medir consumo de O_2 después de ayuno de 3-7 días (elimina efecto de alimento consumido y su metabolismo. Cho y Bureau, 1995)
- Bureau (1997) sugiere valores de 30-40 kJ por día para trucha arco iris a 15-18 °C.
- Esto se compara con valores de 170-590 kJ por día para animales domésticos
- Los bajos valores en peces se atribuyen al ahorro en regulación térmica, menor actividad en bombeo de Na, modo de vida acuática, flotabilidad neutra y forma de excreción de nitrógeno (ammoniotelismo)
- Aunque Hef de pez es comparativamente bajo, la participación de la degradación de la proteína corporal para tales necesidades es 10 veces mayor

Efecto de Peso Corporal

- El metabolismo basal HeE de los animales (kJ/animal/día) aumenta con la masa del animal
- Log HeE aumenta linealmente con log de masa corporal (Blaxter, 1989)
- Pendiente de recta es <1 , lo que indica que animales de menor tamaño gastan mas energía por unidad de masa que los mas grandes
- La relación entre peso corporal y ritmo metabólico está descrita por

$$Y = aW^b$$

- En donde:
 - ◆ Y = ritmo metabolico, W = peso corporal, a = constante dependiente de la especie y temperatura, b = exponente escalar
 - ◆ Para peces, a varia entre 0.50 y 0.80 (Hepher, 1980)
 - ◆ Dependiendo de la especie, b varia entre 0.25 y 0.75

Efecto de Temperatura

- Al ser los peces poikilotérmicos, la temperatura del agua es el factor que mas influencia en el ritmo metabólico y gasto de energía
- Variación en temperatura del agua tiene gran efecto en su metabolismo basal
- HEf de trucha arco iris como función de la temperatura ha sido estimado como:

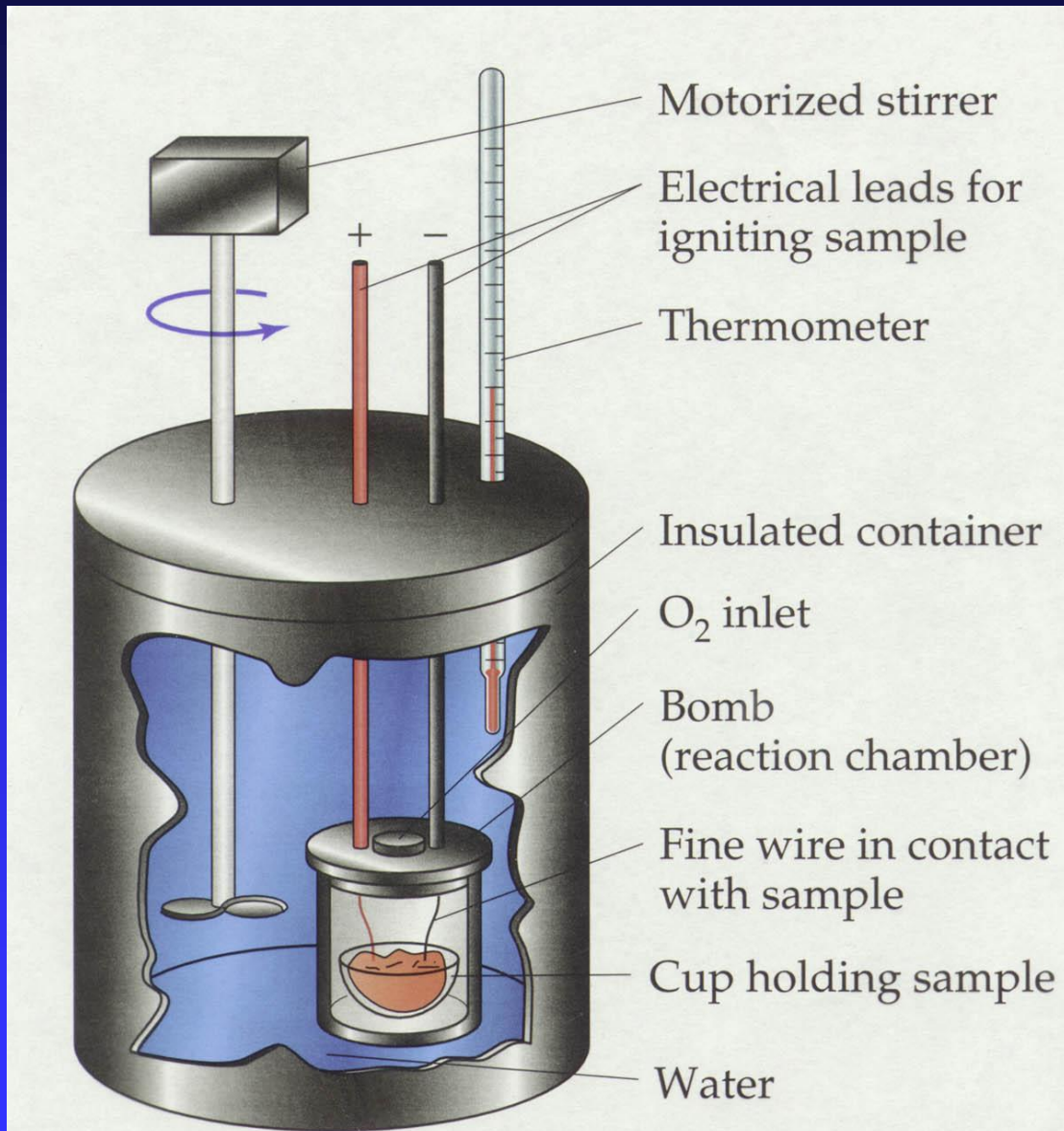
$$\text{Hef} = (-1.04 + 3.26T - 0.05T^2)/(BW^{0.824})/\text{día}$$

- Hef es producción de calor en ayuno (kJ), T es temperatura del agua, y BW es peso corporal (kg)
- Aumento de temperatura del agua resulta en un aumento casi lineal den HeF hasta un cierto nivel (cerca de temperatura para crecimiento óptimo)

Energía Bruta

- Contenido energético de una sustancia es típicamente determinado oxidando (quemando) completamente el compuesto a CO_2 , agua y otros gases
- La cantidad de energía liberada es medida y se llama energía bruta
- Energía Bruta (GE) es medida por un aparato llamado calorímetro de bomba
- Otros aparatos: cámara de gradiente, detector infrarrojo

Calorímetro de Bomba



Energía Bruta de Alimentos, Calorímetro de Bomba

Substrato	kcal/g
Glucosa	3.77
Maicena	4.21
Lípidos	
Grasa Vacuna	9.44
Aceite de Soya	9.28
Caseína	5.84

Energía Bruta de Alimentos

- Lípidos tienen alrededor del doble de GE que carbohidratos
- Esto se debe a diferencias en cantidades relativas de oxígeno, hidrogeno y carbono en los compuestos
- Energía se deriva del calor de combustión de estos elementos: C= 8 kcal/g, H= 34.5, etc.
- Típicamente el calor de combustión de los lípidos es de 9.45 kcal/g, proteínas 5.45, carbohidratos 3.75 (estos se conocen como valores de combustión filológicos o “physiological fuel values” PFV).

Energía Disponible

- Energía Bruta solo representa la energía presente en la materia seca (DM)
- No es una medida del valor energético para el animal que la consume
- La diferencia entre energía bruta y energía disponible al animal, varía grandemente para diferentes componentes y por especie.
- El factor clave es saber que tan digerible el alimento es para una especie.

Energía Digerible

- La cantidad de energía disponible de un alimento para un animal es conocida como energía Digerible (DE)
- DE es definida como la diferencia entre la energía bruta del alimento consumido (IE) y la energía perdida en las heces (FE)
- En el método directo de determinación, todos los alimentos consumidos y las heces excretadas son medidos

Apparent Energy Digestibility

Ingredient	DE (kcal g⁻¹)	ADE (%)
Blood meal (conv.)	5.74	72.2
Blood meal (spray)	5.91	75.1
Casein	5.74	100.9
Corn gluten	5.67	65.4
Crab meal	2.64	80.6
Diatom. earth	0.15	80.6
Distillers grains	5.33	69.672.7
Feather meal	5.19	72.7
Fish meal (anchovy)	4.77	87.3
Fish meal (menh.)	4.42	83.3

Apparent Energy Digestibility

Ingredient	DMEC (kcal g⁻¹)	ADE (%)
Gelatin	5.14	102.2
Krill meal	5.19	80.6
Krill flour	5.47	87.2
Poultry byproduct	4.94	82.1
Soybean meal (48%)	4.42	85.6
Soybean meal (full fat)	5.56	80.8
Squid muscle meal	5.63	81.8
Squid liver meal	5.33	74.0
Wheat gluten	5.65	99.5
Wheat starch	4.17	98.9

Energía Metabolizable

- Esta es una distinción aun mas detallada de disponibilidad de energía
- Representa la DE menos la energía perdida a través de las branquias y desechos urinarios
- Mucho mas difícil de determinar
- Debe recolectar todos los desechos urinarios mientras el pez esta en el agua!!!

$$\%ME = \frac{\text{Energía Ingerida} - (\text{E perdida en heces, orina, branquias, superficie})}{\text{Energía Alimento}} \times 100$$

Energía Metabolizable

- Uso de ME vs DE permite una evaluación mas absoluta de la energía dietética metabolizada por los tejidos
- Sin embargo, ME ofrece poca ventaja sobre DE porque la mayoría de la energía es usada para la digestión en el pez
- Perdidas de energía en el pez a través de la orina y las branquias no varía mucho por el tipo de alimento
- Las pérdidas por energía fecal son mas importantes
- Forzar a un pez a comer involuntariamente no es una buena representación del proceso energético real

Table 2.3. RATIOS OF DIGESTIBLE TO GROSS ENERGY (DE/IE) AND METABOLIZABLE TO DIGESTIBLE ENERGY (ME/DE) FOR RAINBOW TROUT

Feedstuff	DE/IE	ME/DE
Anchovy fish meal	.91	.94
Whitefish meal	.84	.94
Soybean meal, without hulls	.79	.94
Meat meal	.71	.95
Cottonseed meal, without hulls	.63	.93
Wheat middlings	.40	.91

Source: Calculated from values in NRC (1981).

Balance de Energía en Peces

- El flujo de energía en peces es similar al de mamíferos y aves, pero:
- Peces son mas eficientes en uso de energía
- Perdidas de energía en orina y excreción por branquias son menores en peces porque 85% de desechos nitrogenados son excretados como amonio (vs. urea en mamíferos y ácido úrico en aves)
- Incremento de calor como resultado de ingerir alimento es 3-5% ME en peces vs. 30% en mamíferos
- Requerimientos de energía de mantenimiento son menores porque no regulan temperatura corporal
- Usan menos energía para mantener su posición

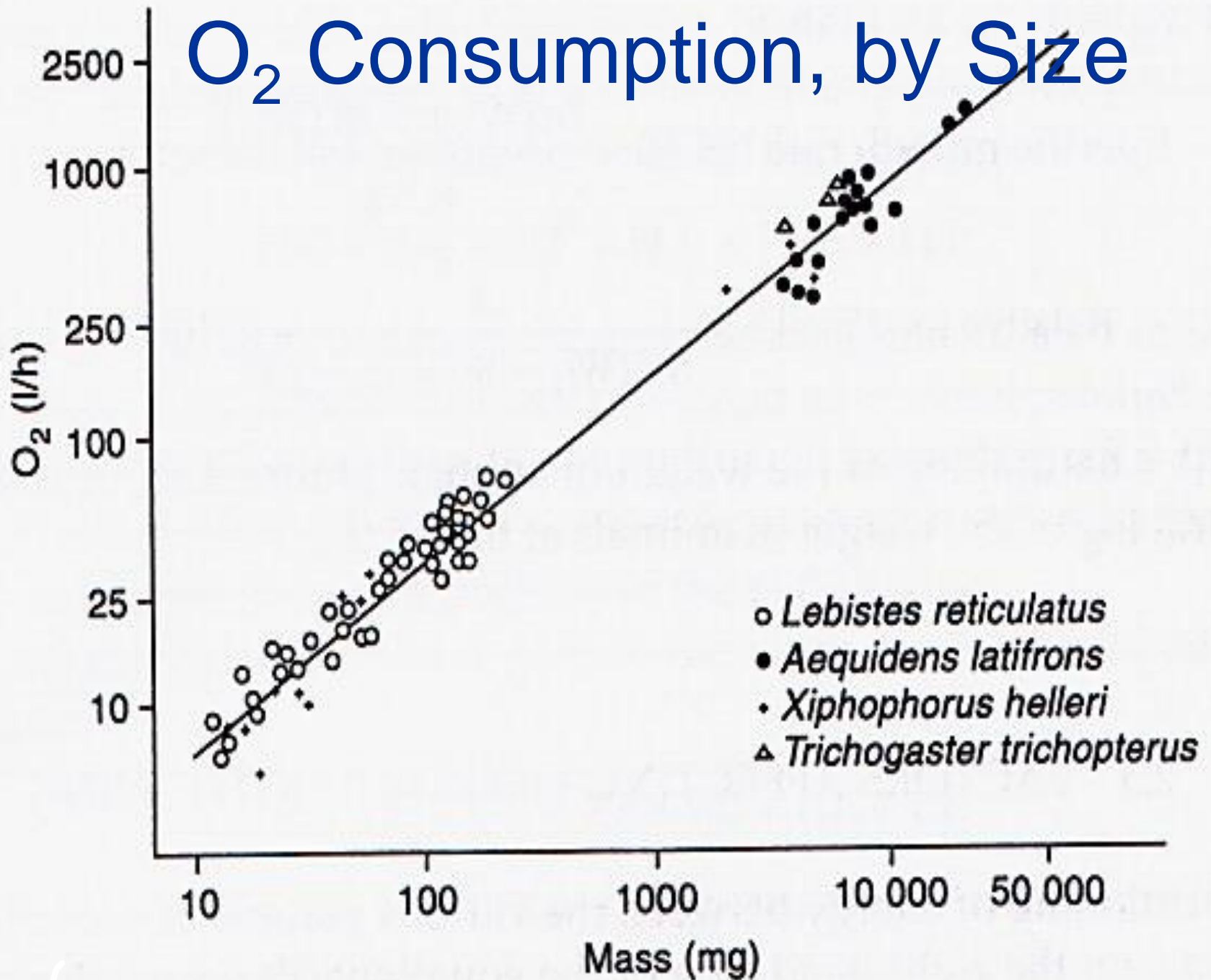
Balance Energía: Postlarvas Camarones

- Postlarva Camarón normalmente alimentadas con dieta alta en proteína (50% CP)
- Jimenez-Yan et al. (2006) evaluaron partición de energía en postlarvas de *P. vannamei*
- Alimentaron dos dietas: proteína animal y proteína vegetal
- Energía recuperada fue similar en PL₁₄₋₁₉; sin embargo, juveniles tempranos discriminaron entre ambos tipos de proteína
- Mayor incremento de temperatura con proteína animal (O:N < 20)
- Diferencias mayormente asociada con COH en dieta, no fuente de proteína.
- Muestra buen potencial para alimentos basados en proteína vegetal (e.g., harina de soya, etc.)

Factores Afectando Partición de Energía

- Factores que afectan ritmo metabólico basal u otros cambios
- Aquellos afectando RMB son los siguientes:
 - ① **Tamaño Cuerpo:** no-linear, $y = ax^b$, para la mayoría de variables fisiológicas, b está en el rango entre 0.7 y 0.8
 - ② **Disponibilidad de oxígeno:** hay conformadores (linear) y no-conformadores (constante hasta el stress)

O₂ Consumption, by Size



Factores Afectando Partición Energía

- ③ **temperatura:** mayoría especies de acuicultura son poikilotermicas, efecto significativo, aclimatación requerida, situaciones de acuicultura pueden significar rápidos cambios temperatura
- ④ **osmoregulación:** cambios en salinidad resultan en aumento de consumo de energía
- ⑤ **stress:** incremento en RMB resultado de aumento en niveles de desechos, bajo O.D., hacinamiento, manipuleo, contaminación, etc. (manifestado por hipoglucemia)
- ⑥ **cíclicos:** numerosos procesos animales son ciclicos por naturaleza (e.g., reproducción, migración, muda)

Factores Afectando Partición Energía

- Aquellos que no afectan RMB son:
 - ① **Desarrollo gonadal:** mayoría de energía desviada de crecimiento muscular a oogenesis, deposito de lipidos, puede representar 30-40% de peso corporal, implicaciones????
 - ② **locomoción:** mayor parte de consumo de energía, varía con forma corporal, comportamiento y tamaño, acuático vs. terrestre

Frecuencia y Niveles de Alimentación

- Cambios en niveles de alimentación debidos a temperatura o manipulación humana pueden alterar la cantidad de energía total digerida y absorbida
- En mayoría de casos frecuencia de alimentación no afecta digestibilidad (pero si consumo)
- Digestibilidad determinada no por frecuencia de alimentación pero por requerimientos del animal y características químicas de alimento

Factores Afectando Producción de Desperdicios Metabólicos

- **Cantidad de Energía Fecal (FE) producida por organismo depende de susceptibilidad de ingredientes de alimento de ser digeridos y absorbidos**
- **Por lo tanto, digestibilidad de un ingrediente es mas o menos independiente de otros ingredientes en la dieta**

LAS REACCIONES CELULARES BÁSICAS`

- Todas las células llevan a cabo ciertas funciones vitales básicas:
 - ◆ Ingestión de nutrientes.
 - ◆ Eliminación de desperdicios.
 - ◆ Crecimiento.
 - ◆ Reproducción.
- Las células obtienen del alimento la energía para cada una de estas funciones básicas.`



Organismos autótrofos y heterótrofos



- Los seres vivos que sintetizan su propio alimento se conocen como **autótrofos**:
 - ◆ Plantas verdes - sol
- Los seres vivos que no pueden sintetizar su propio alimento se conocen como **heterótrofos**:
 - ◆ Animales

- Una vez que el alimento es sintetizado o ingerido, la mayor parte se degrada para producir la **energía** que necesitan las células.
 - ◆ Los procesos que ocurren en las células son físicos y químicos.
- El total de todas las reacciones que ocurren en una célula se conoce como **metabolismo**.

And You Say This Evolved?

Found below is a diagram of the major metabolic pathways of a typical cell. Shaded in grey are the main pathways of glucose metabolism. Many have claimed that such extremely complex biochemical pathways could evolve step-by-step in a Darwinian fashion. We claim it could not. Even the simplest bacteria has these, and a whole host of other equally complex pathways.

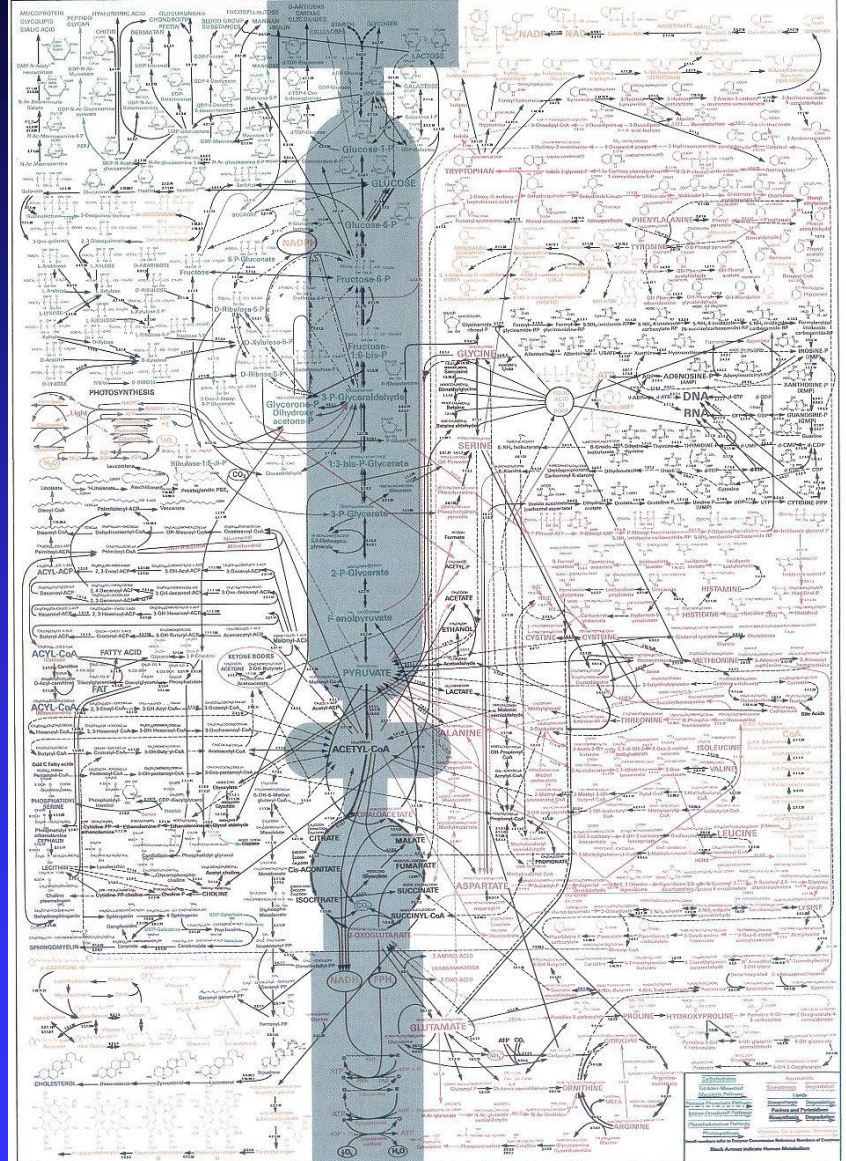
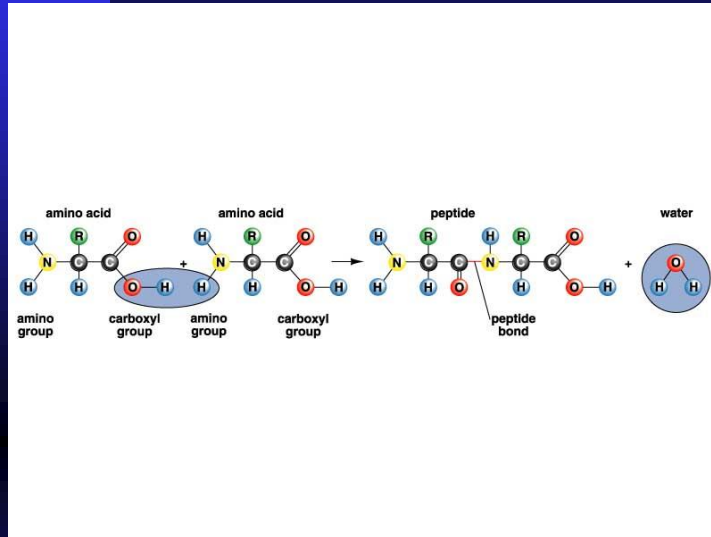


FIGURE 15-1. A map of the major metabolic pathways in a typical cell. The main pathways of glucose metabolism are shaded. [Designed by D. E. Nicholson. Published by BDH Ltd., Poole 2, Dorset, England.] This diagram was taken from "Biochemistry" by Voet & Voet (2nd edition, 1995, John Wiley & Sons, pg. 413)

Reacciones anabólicas y catabólicas

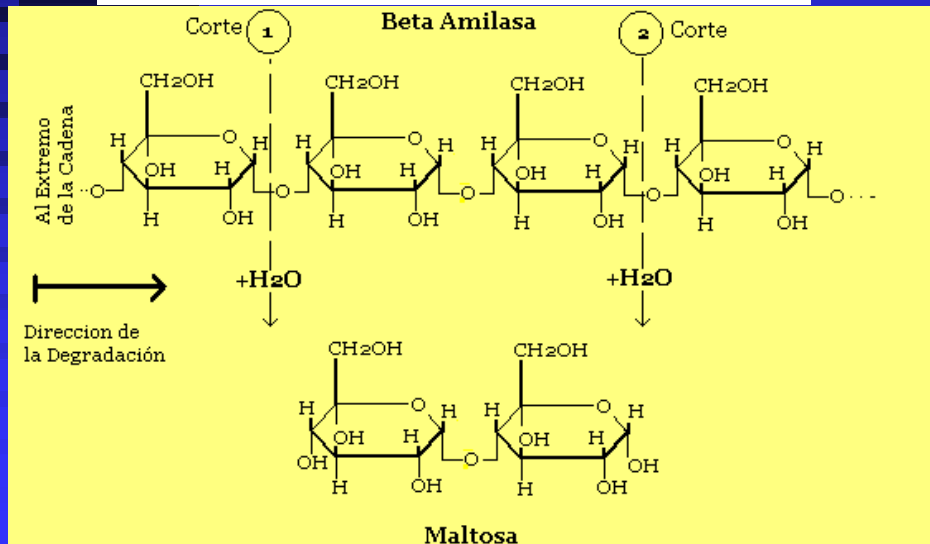


- Las reacciones en que sustancias simples se unen para formar sustancias más complejas se llaman **reacciones anabólicas**.

- ◆ Síntesis de proteínas.

- Las reacciones en las cuales sustancias complejas se degradan para convertirse en sustancias más simples se llaman **reacciones catabólicas**.

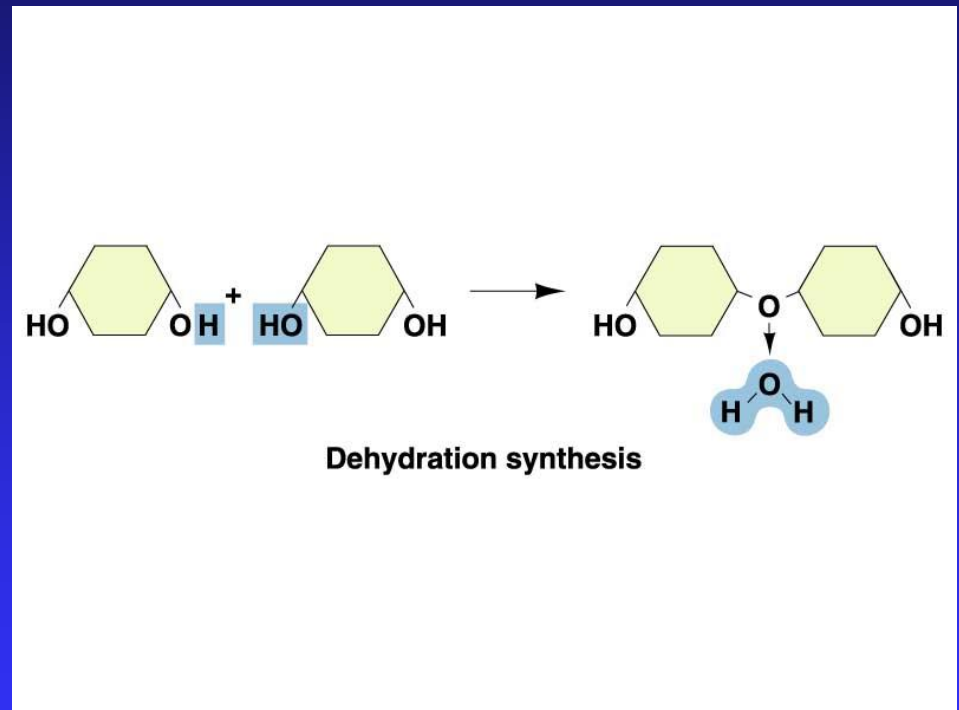
- ◆ Degradación de almidón.



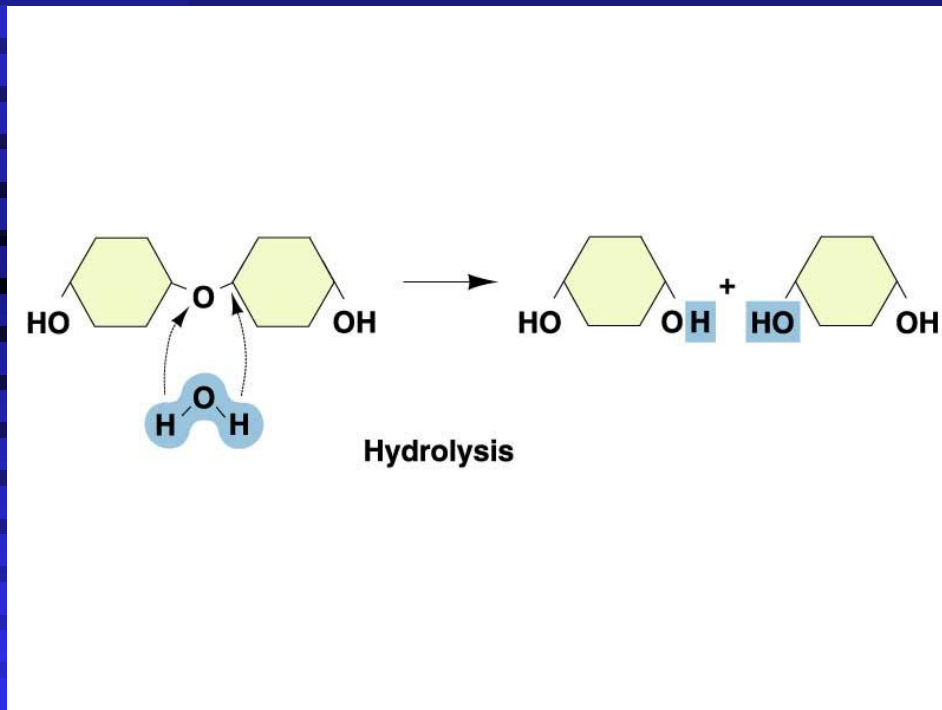
Síntesis por deshidratación

- Las reacciones anabólicas que comprenden la remoción de agua se conocen como **síntesis por deshidratación**:

- ◆ Se forma una molécula al unir sus partes y al perderse agua en el proceso.



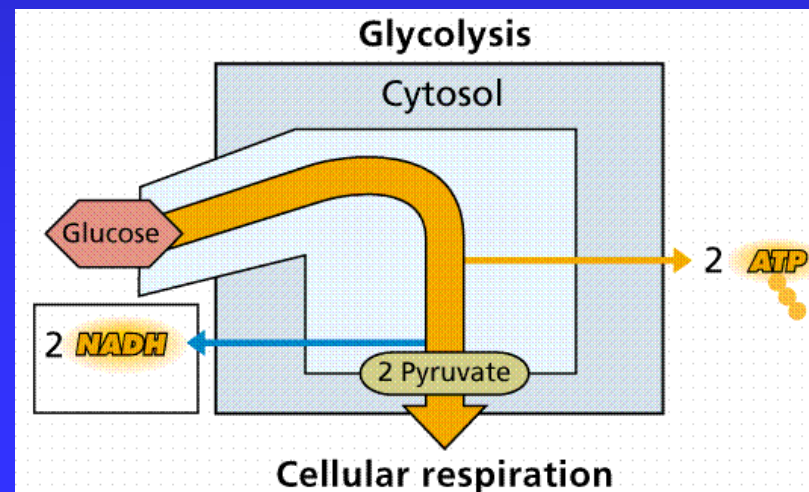
Hidrólisis



- Las reacciones catabólicas, en las cuales se añade agua, se conocen como hidrólisis.
 - ◆ Al añadir agua, la molécula grande se rompe en sus partes.

Reacciones endergónicas y exergónicas

- Una **reacción endergónica** es una reacción química que necesita o utiliza energía.
 - ◆ Fotosíntesis.
- Una reacción que libera energía se conoce como una **reacción exergónica**.
 - ◆ Respiración celular.



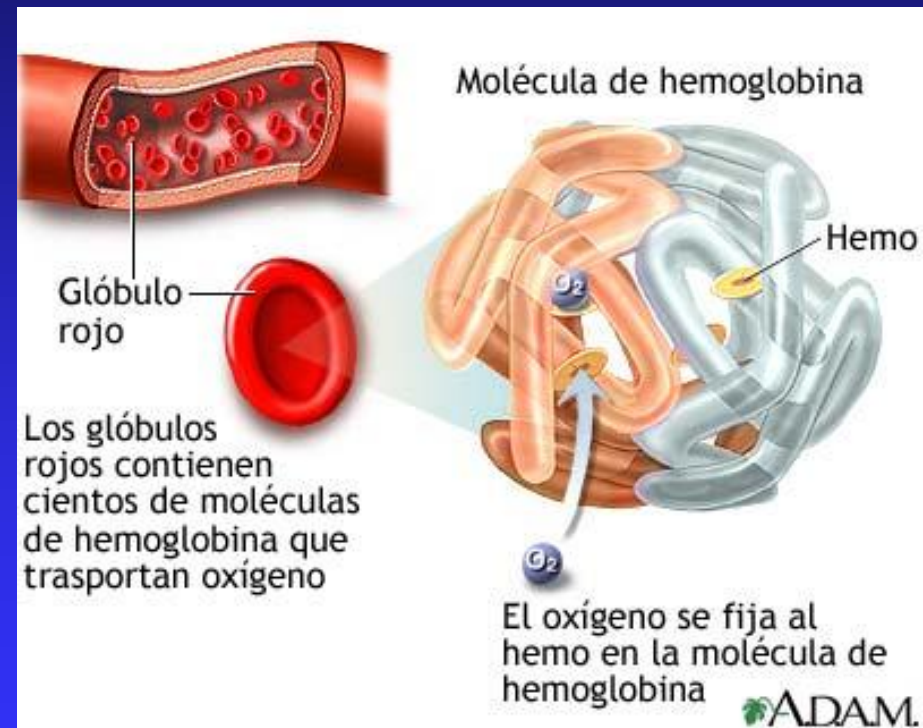
Energía de activación



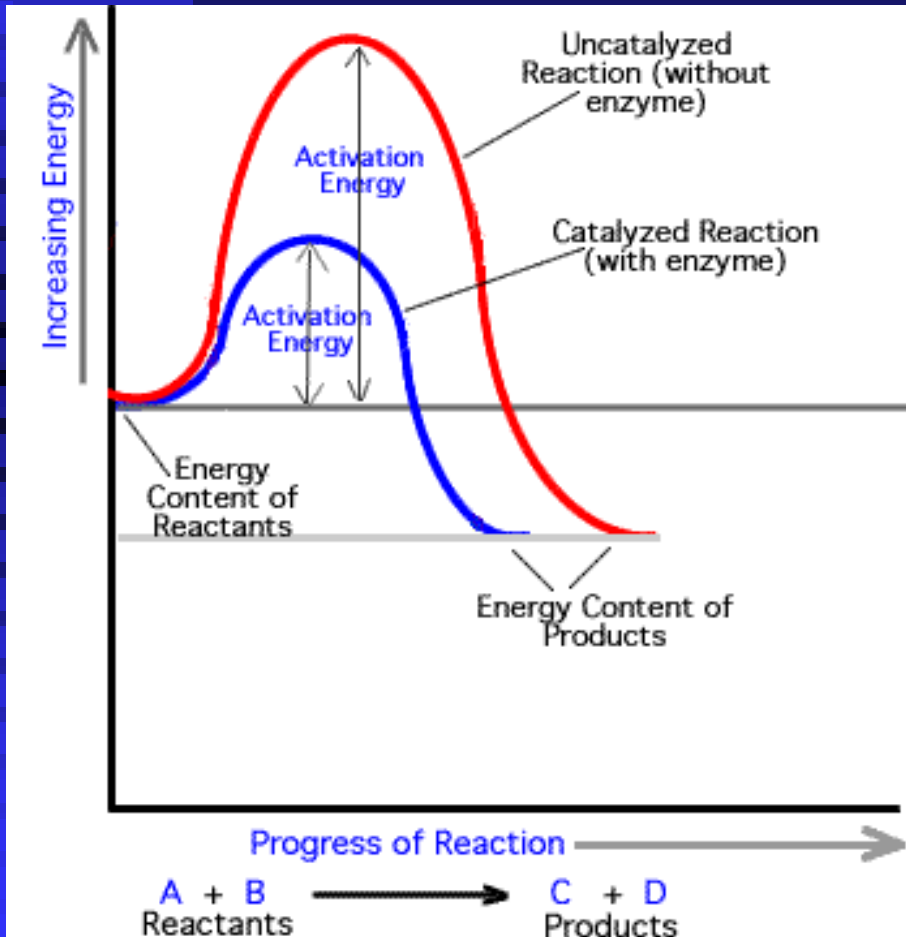
- Muchas reacciones exergónicas necesitan calor (energía) para comenzar.
 - ◆ Ej.: Combustión de madera.
- Esta energía se conoce como **energía de activación**.
 - ◆ La cantidad de energía de activación es, generalmente, mucho menor que la energía que libera la reacción.
- ¿Las células realizan reacciones exergónicas?
- ¿Cómo lo hacen sin sufrir daños?

Catalizadores

- Las células poseen compuestos químicos que controlan las reacciones que ocurren en su interior.
- La sustancia que controla la velocidad a la que ocurre una reacción química sin que la célula sufra daño alguno ni se destruya se conoce como un **catalizador**.
- Las **enzimas** son proteínas que actúan como catalizadores en las células.



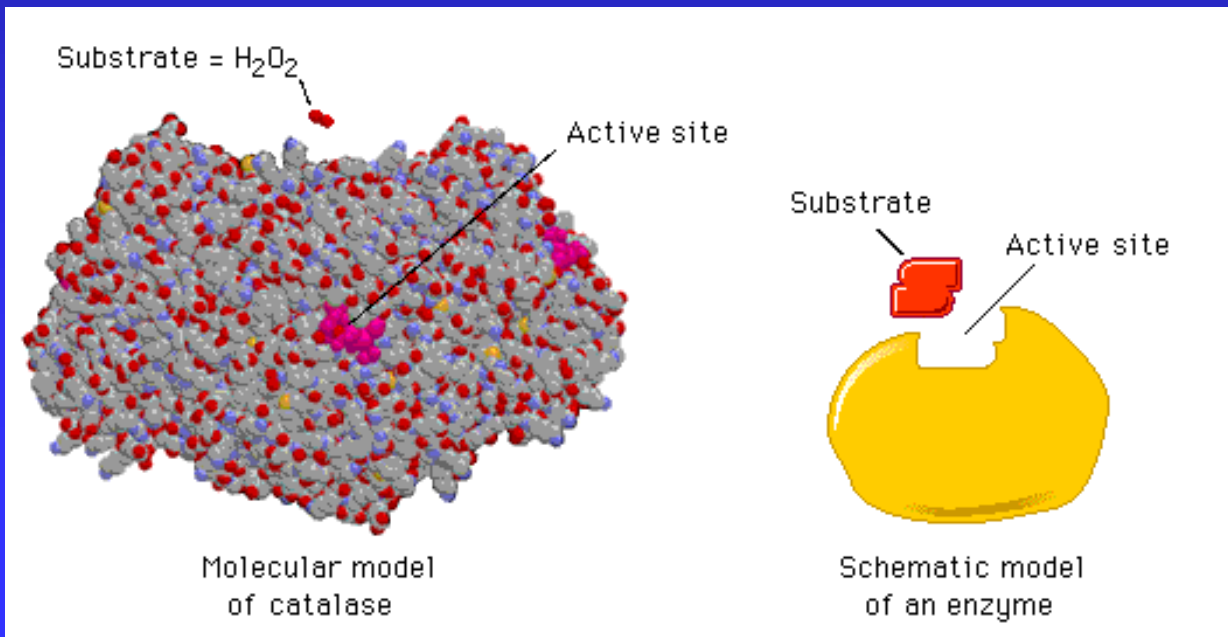
Enzimas

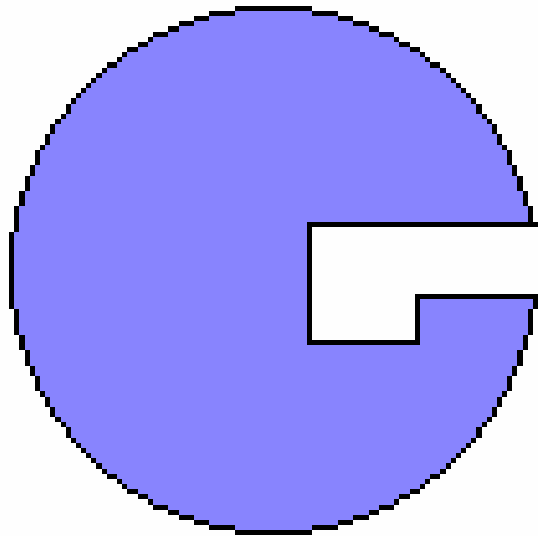


- Hacen posibles las reacciones, disminuyendo la cantidad de energía de activación que se necesita.
- Controlan la velocidad a la que ocurre la reacción, para que la energía se libere lentamente.
- Permiten que las reacciones ocurran a unas temperaturas que no hagan daño al organismo.

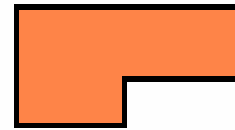
Enzimas y sustratos

- La sustancia sobre la cual actúa una enzima se conoce como **sustrato**.
 - ◆ El sustrato se convierte en uno o más productos nuevos.
- Las enzimas son reutilizables y cada una puede catalizar de 100 a 30,000,000 de reacciones por min.
- Pero, una enzima particular actúa solo sobre un sustrato específico.
 - ◆ Cada enzima particular puede controlar solo un tipo de reacción.





Enzyme

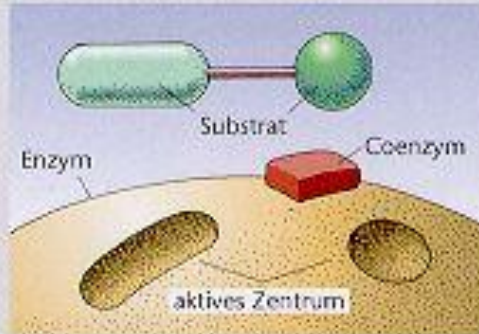


Substrate



Enzimas y coenzimas

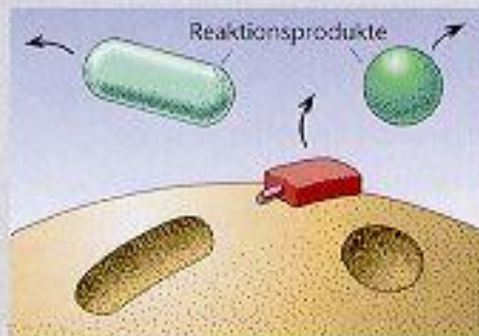
Substrat und Enzym passen zusammen wie der „Schlüssel zum Schloss“...



sie verbinden sich; dabei wird eine chemische Bindung im Substratmolekül aufgebrochen...



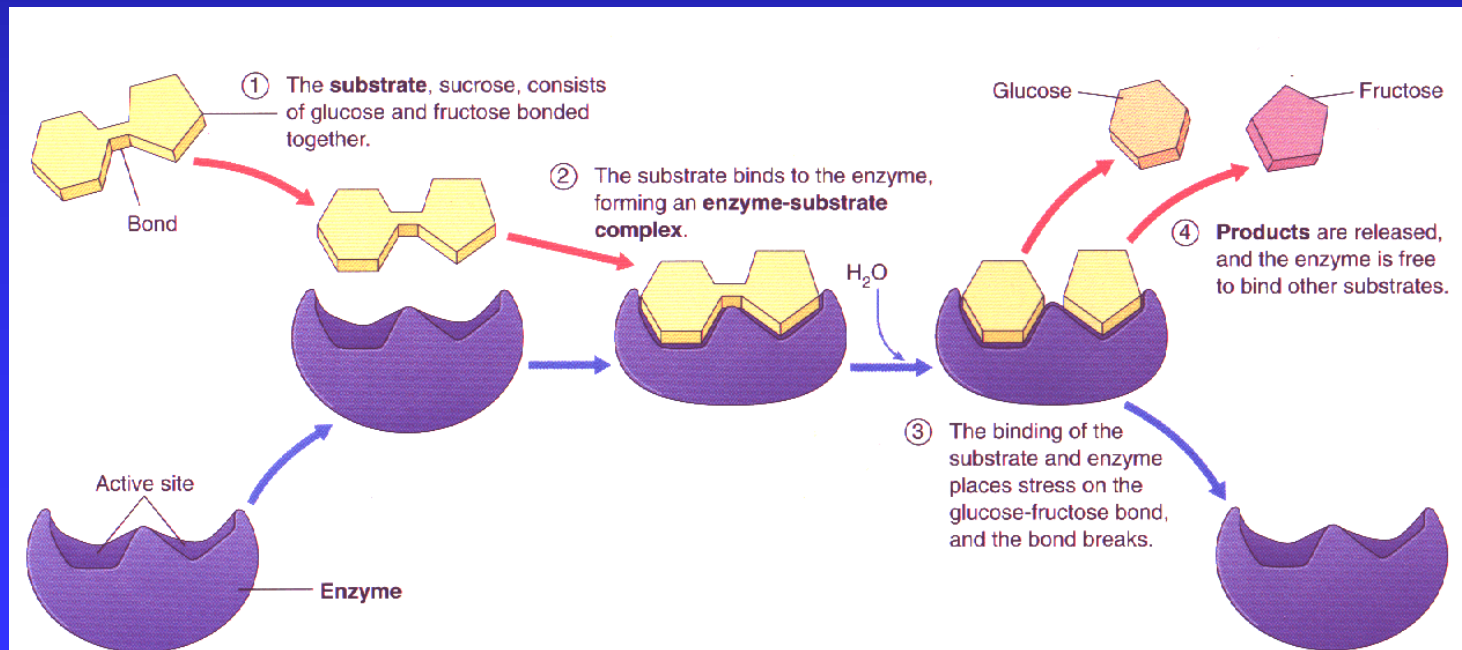
die Reaktionsprodukte des Substrats verlassen das Enzym wieder, das Coenzym greift das Spaltprodukt der Bindung auf und trennt sich vom Enzym.



- Una enzima recibe el nombre del sustrato sobre el cual actúa.
 - ◆ A una parte del nombre del sustrato se le añade el sufijo **-asa**. ¿Cuál será el sustrato de una proteasa?
- En algunas reacciones, pequeñas moléculas, llamadas **coenzimas**, se unen a las enzimas para controlar las reacciones.
 - ◆ Las coenzimas no son proteínas pero no sufren cambios durante las reacciones.
 - ◆ Algunas **vitaminas** son coenzimas. **B1, B2, B6, K**.
 - ◆ Una reacción no ocurrirá si la coenzima no está presente.

Los modelos de enzimas

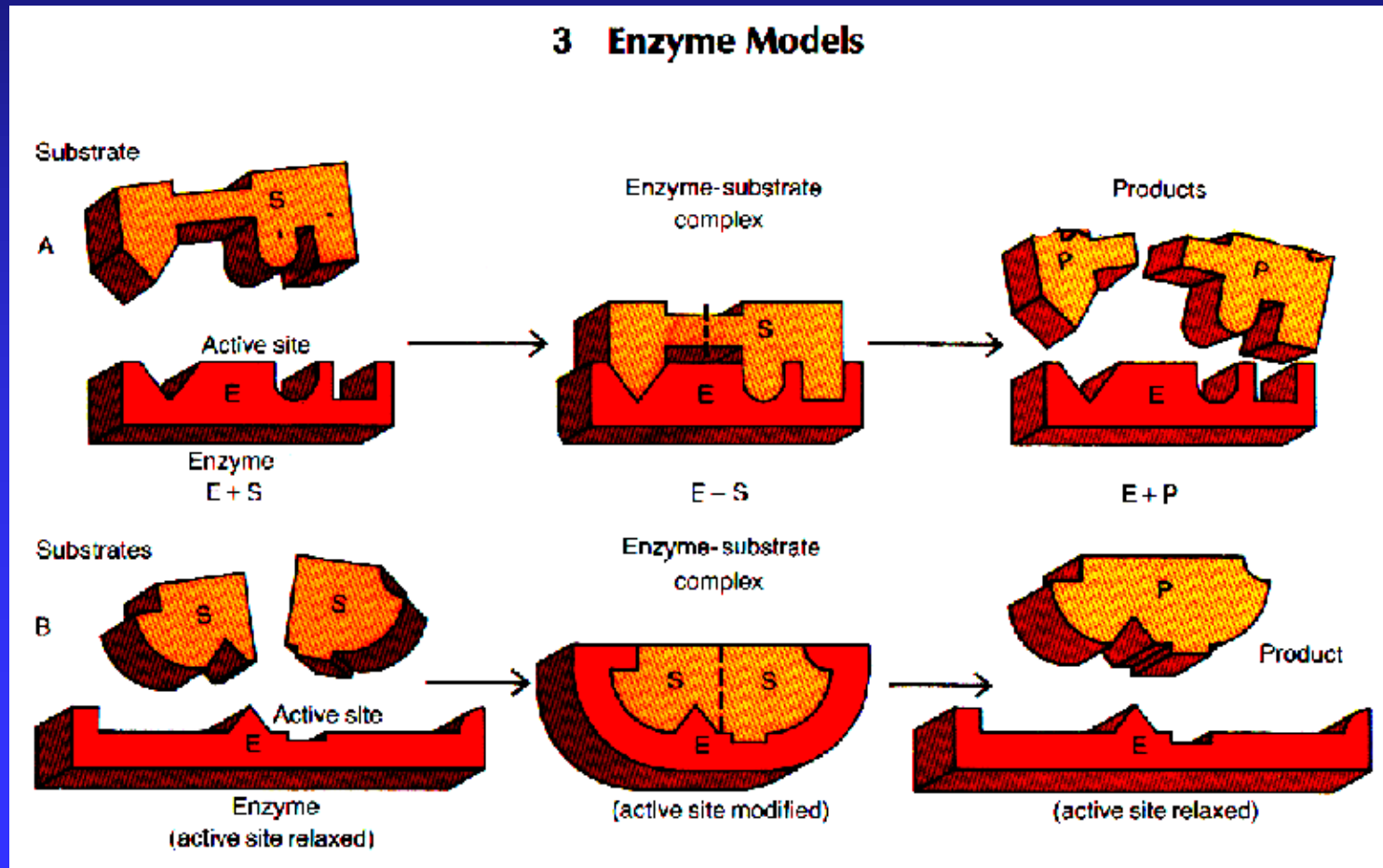
- La forma y la estructura de una enzima determinan la reacción que puede catalizar.
- La enzima se une al **sustrato (S)** mediante un área especial, el **sitio activo**, para formar un **complejo enzima-sustrato** o **E-S**.
- En el sitio activo, la enzima y el sustrato se ajustan perfectamente.



Los modelos de enzimas

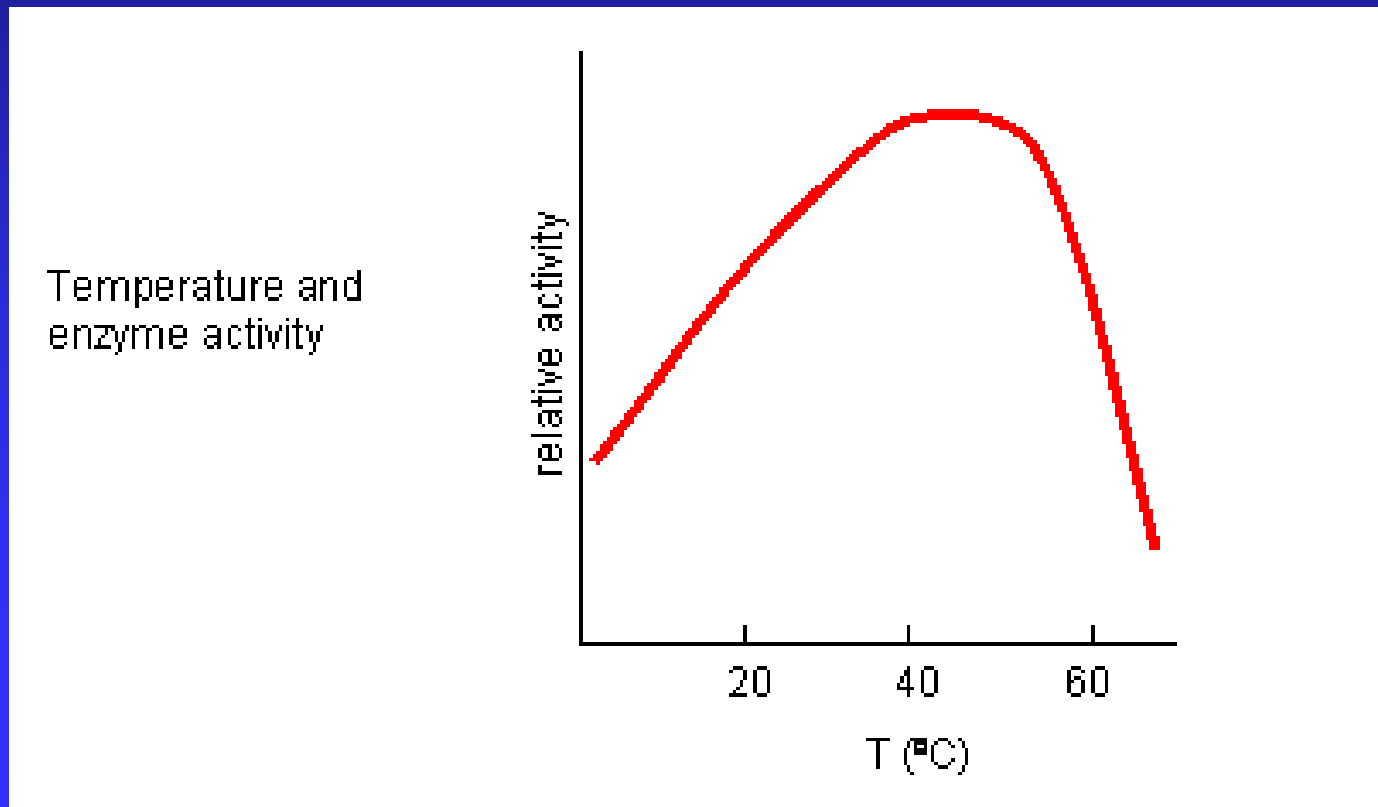
■ Modelo de la llave y la cerradura.

■ Modelo del ajuste inducido.



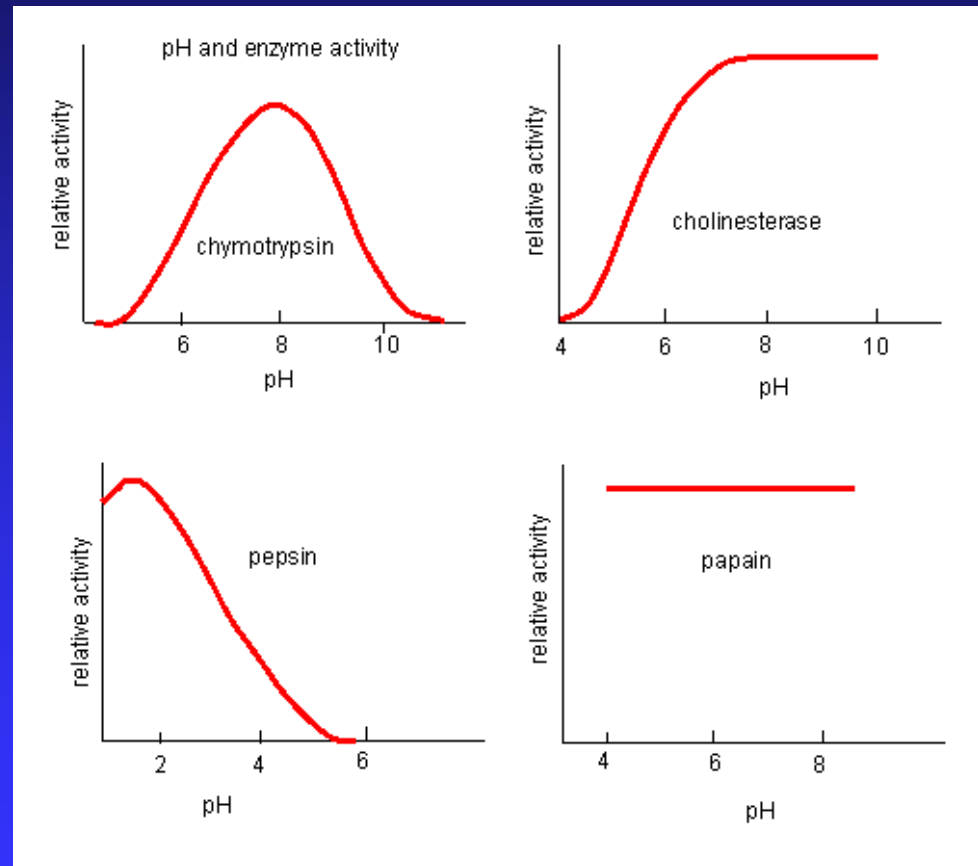
Los factores que afectan la actividad enzimática

- La temperatura (desnaturalización) (Ej: albúmina)



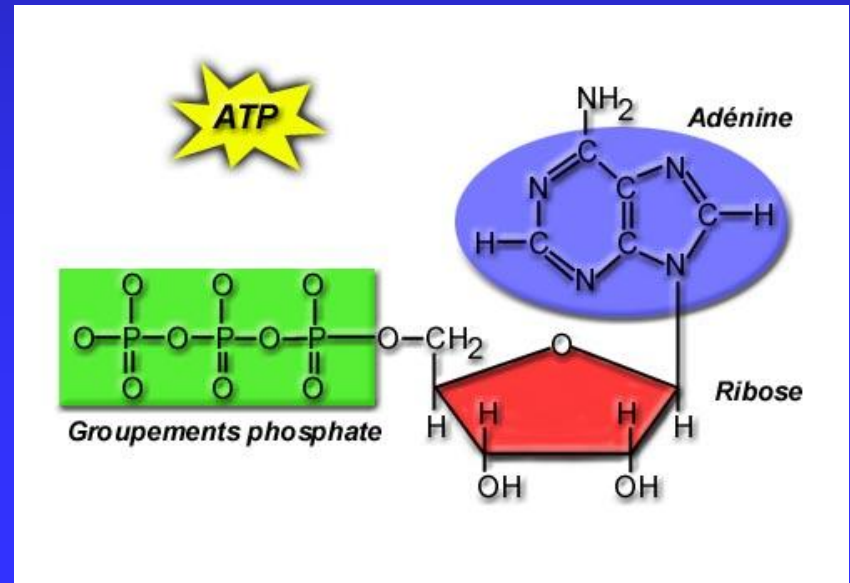
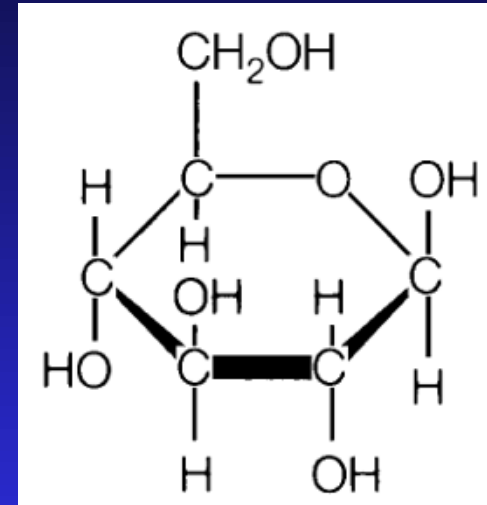
Los factores que afectan la actividad enzimática

- El pH (desnaturalización) (Ej: pepsina)
- La concentración del sustrato
- Sustancias químicas (inhibidores)

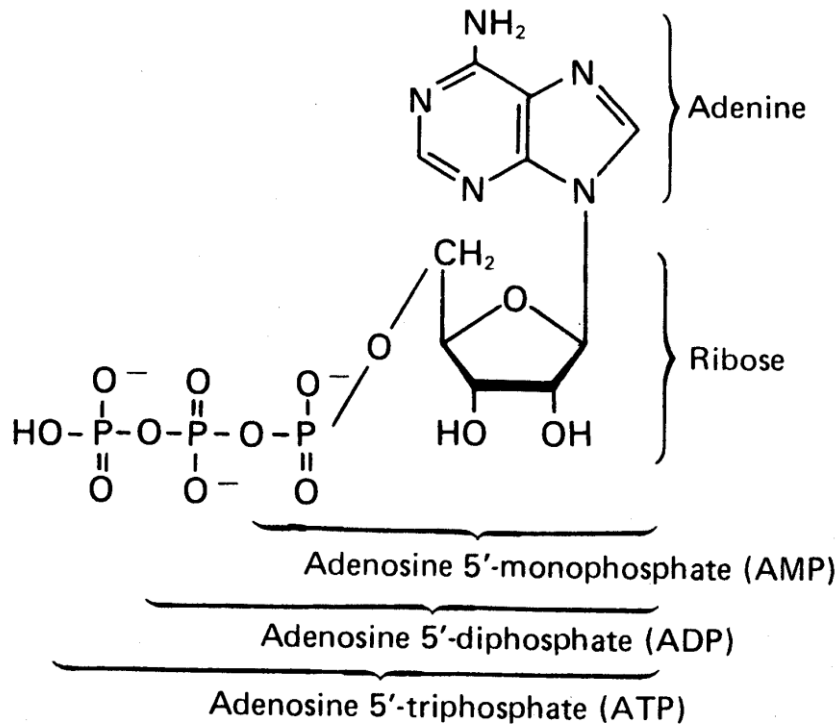


El trifosfato de adenosina

- La fuente principal de energía para los seres vivos es la **glucosa**.
 - ◆ La energía química se almacena en la glucosa y en otras moléculas orgánicas que pueden convertirse en glucosa.
- Cuando las células degradan la glucosa, se libera energía en una serie de pasos controlados por enzimas.
 - ◆ La mayor parte de esta energía se almacena en otro compuesto químico: **el trifosfato de adenosina o ATP**.



Estructura del ATP



■ Adenosina:

- ◆ Adenina
- ◆ Ribosa

■ Tres grupos fosfato:

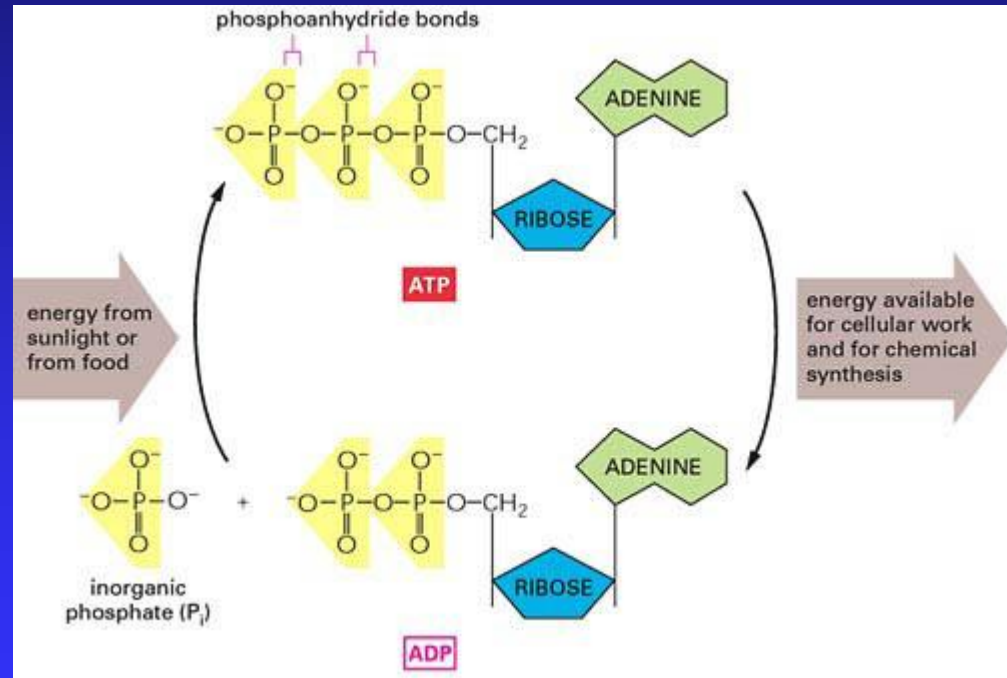
- ◆ Tres átomos de fósforo unidos a cuatro átomos de oxígeno.

■ Enlaces de alta energía:

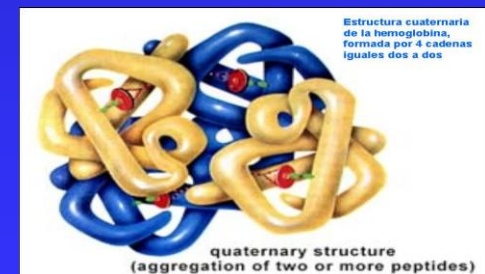
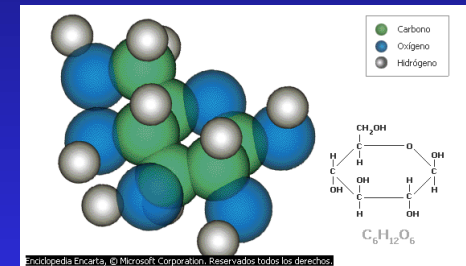
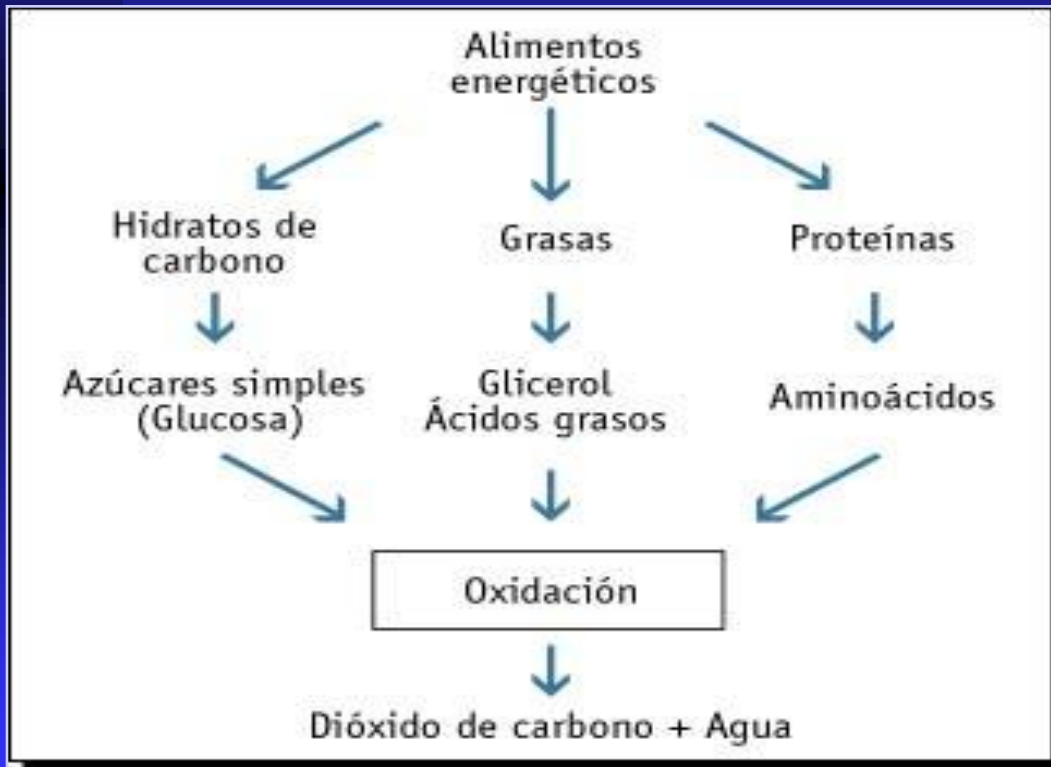
- ◆ Contienen la energía almacenada.

Síntesis y degradación del ATP

- La célula necesita continuamente energía, por ello, debe producir continuamente ATP, a partir de **ADP y P_i** , los cuales están en la célula.
- La energía para formar ATP proviene del alimento, generalmente glucosa.
 - ◆ El ATP se degrada y libera energía mucho más fácilmente que el alimento.



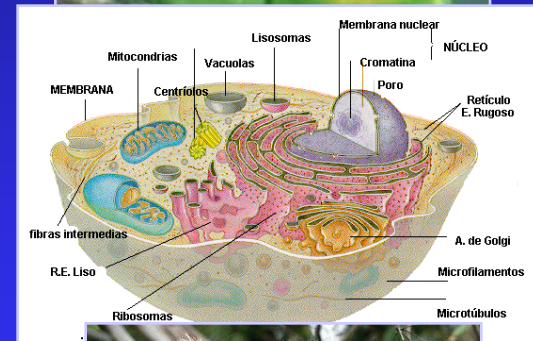
La respiración celular, consiste en la oxidación de sustancias provenientes de los alimentos, como los hidratos de carbono, grasas, en menor proporción, proteínas, y la liberación de energía, dióxido de carbono y agua. Permite el aprovechamiento de la energía contenida en los nutrientes a partir de su degradación.



RESPIRACIÓN EN PRESENCIA DE OXIGENO (AERÓBICA) Parte 1

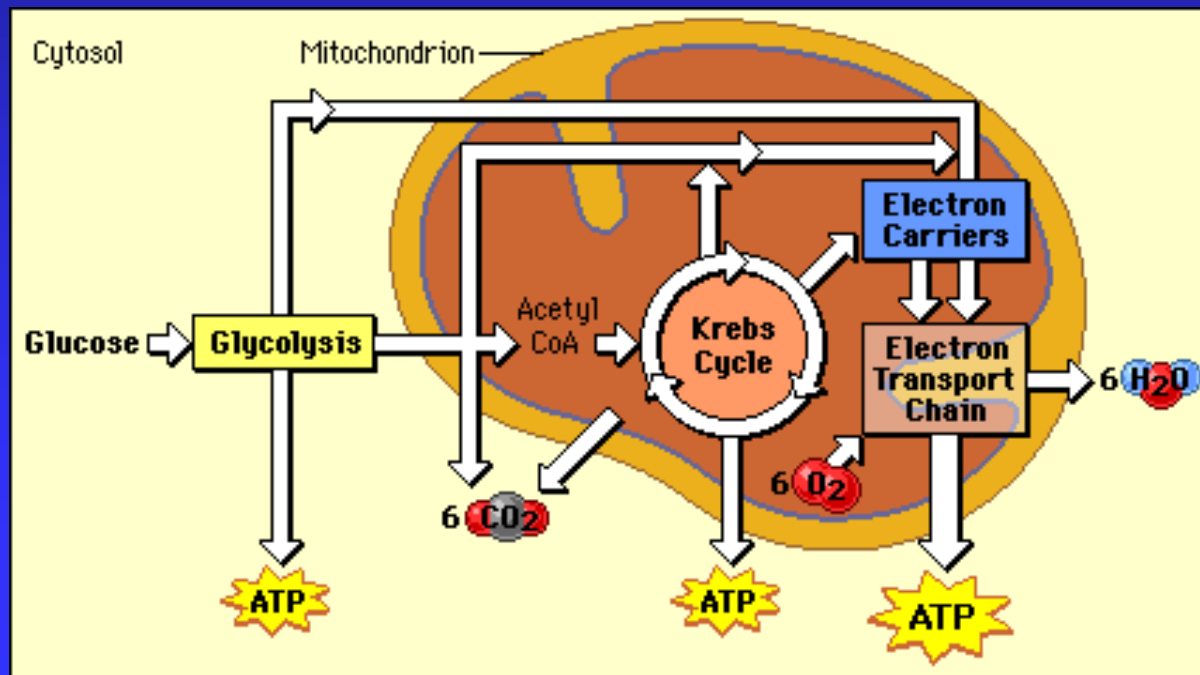
La respiración aeróbica es el proceso responsable de que la mayoría de los seres vivos, los llamados por ello aerobios, requieran oxígeno. Es la forma más extendida, propia de una parte de las bacterias y de los organismos eucariontes, cuyas mitocondrias derivan de aquéllas.

Hace uso del O_2 como aceptor último de los electrones desprendidos de las sustancias orgánicas.



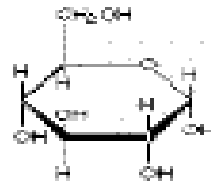
Respiración celular

- La degradación de la glucosa mediante el uso de oxígeno o alguna otra sustancia inorgánica, se conoce como **respiración celular**.
- ◆ La respiración celular que necesita oxígeno se llama respiración aeróbica.





FOTOSÍNTESIS



glucosa

GLUCÓLISIS

con oxígeno

**RESPIRACIÓN
CELULAR**

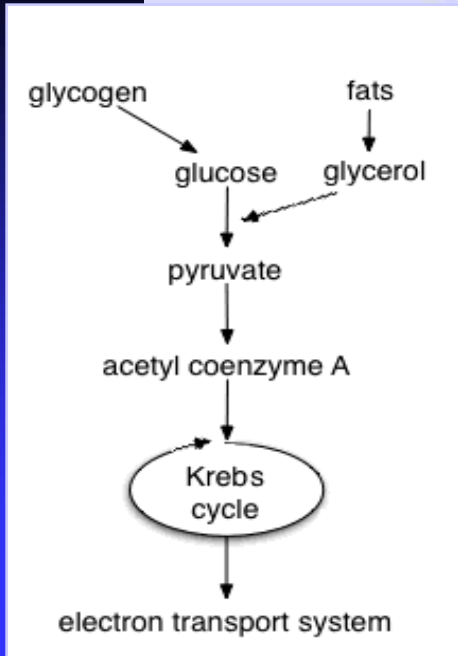
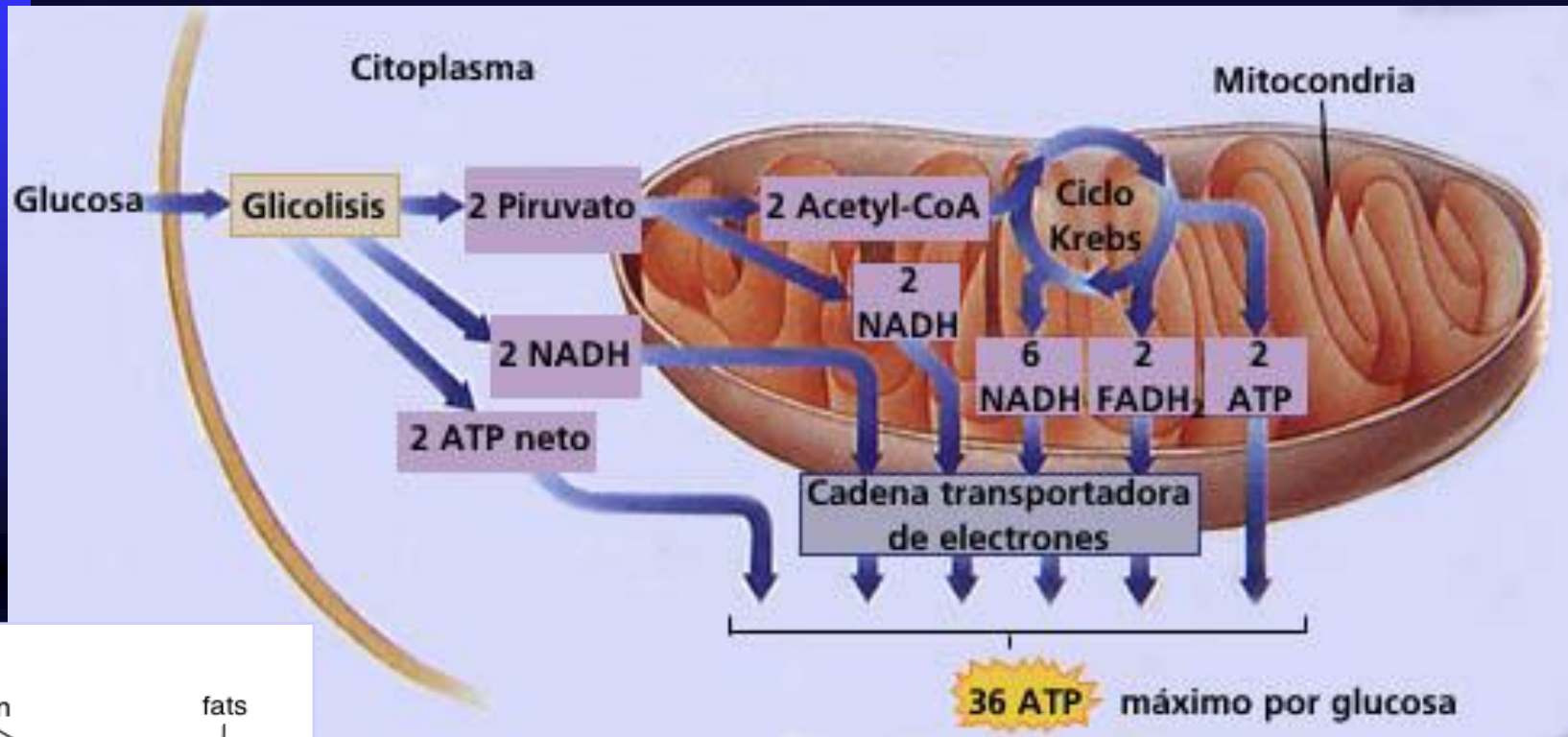
*Oxidación del piruvato
Ciclo del ác. cítrico
cadena respiratoria*

36 ATP

sin oxígeno

FERMENTACIÓN

2 ATP

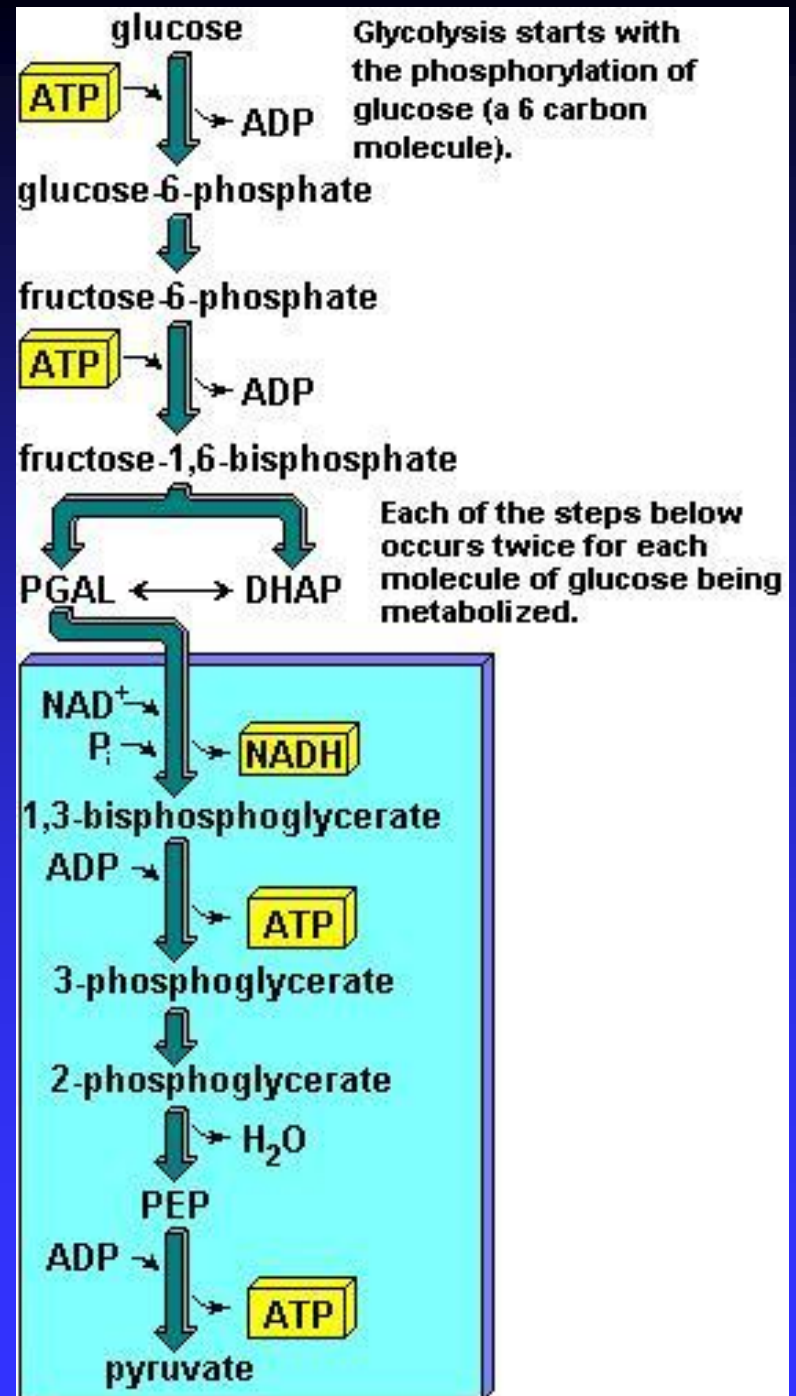


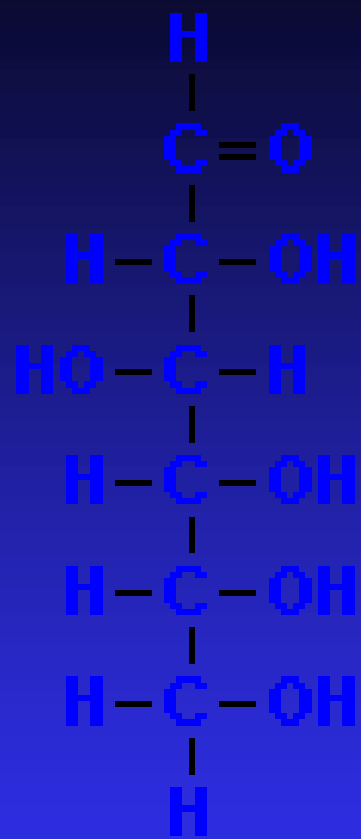
Oxidación completa de la glucosa en la célula

Glucólisis

- Es la conversión de glucosa en dos moléculas de **ácido pirúvico** (compuesto de 3 carbonos).

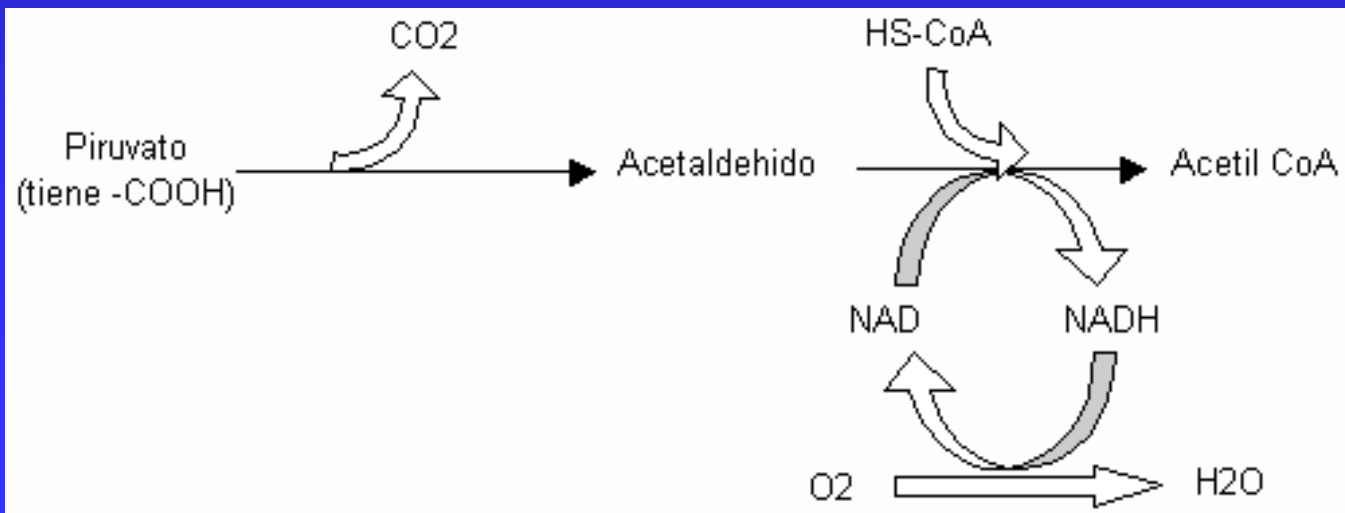
- ◆ Se usan dos moléculas de ATP, pero se producen cuatro.
- ◆ El H, junto con electrones, se unen a una coenzima que se llama **nicotín adenín dinucleótido (NAD⁺)** y forma **NADH**.
- ◆ Ocurre en el citoplasma.
- ◆ Es anaeróbica.





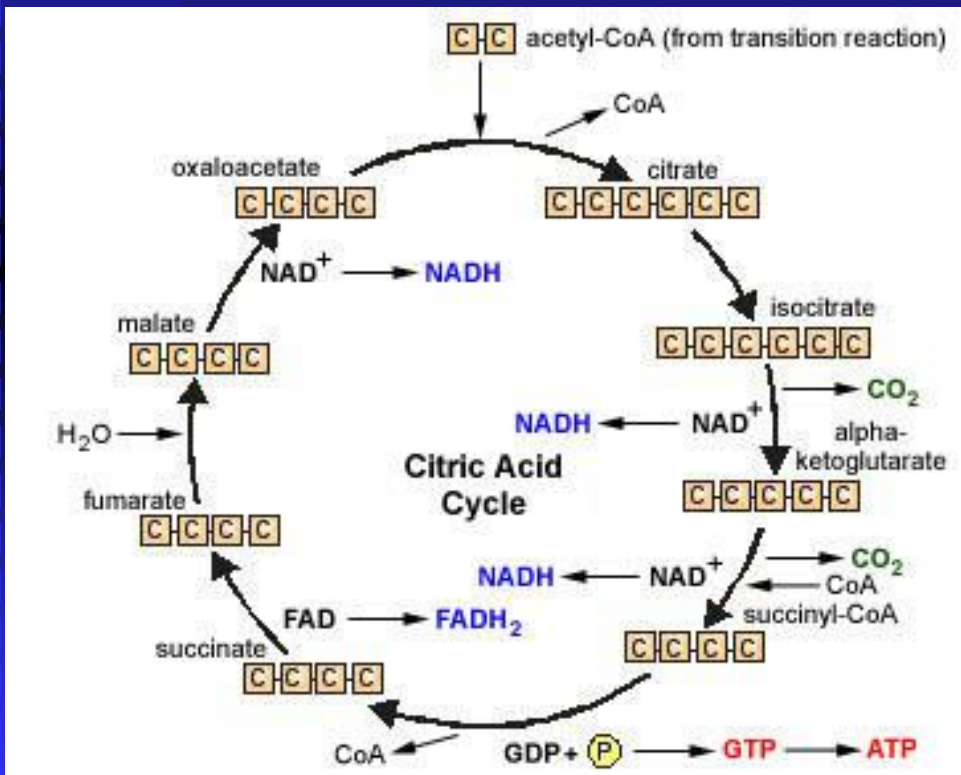
Glucólisis

- Libera solamente el 10% de la energía disponible en la glucosa.
- La energía restante se libera al romperse cada molécula de ácido pirúvico en **agua y bióxido de carbono**.
- El primer paso es la conversión del ácido pirúvico (3 C) en **ácido acético (2 C)**; el cual está unido a la **coenzima A (coA)**.
 - ◆ Se produce una molécula de CO₂ y NADH.



El ciclo del ácido cítrico

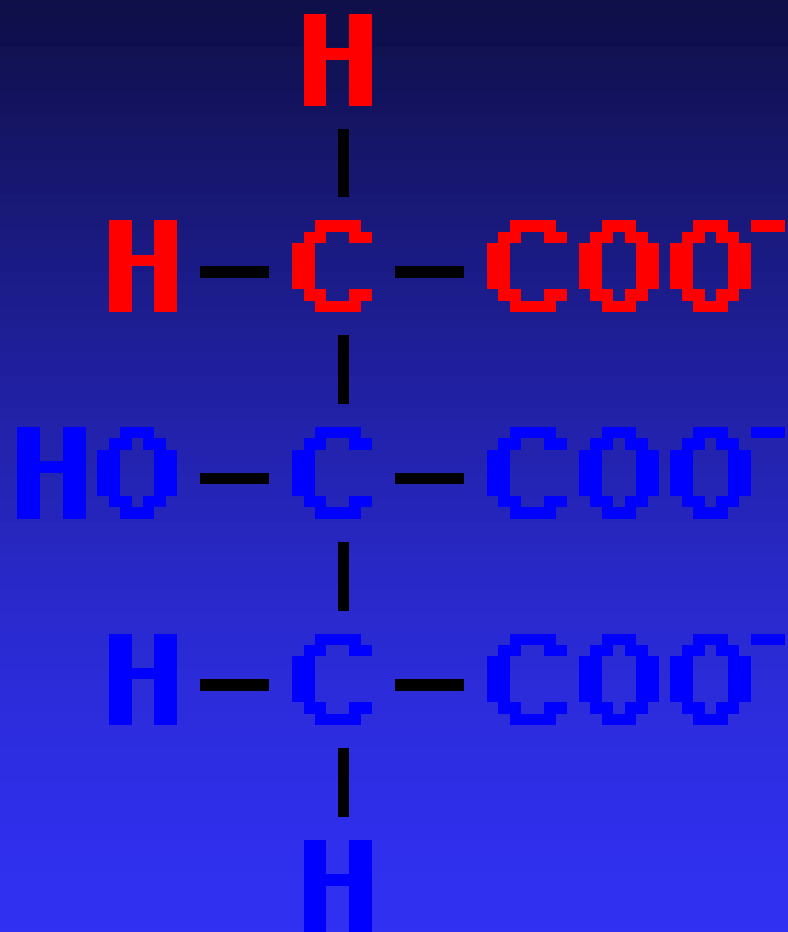
- A continuación, el acetyl-CoA entra en una serie de reacciones conocidas como el **ciclo del ácido cítrico**, en el cual se completa la degradación de la glucosa.



- ◆ El acetyl-coA se une al ácido oxaloacético (4C) y forma el ácido cítrico (6C).
- ◆ El ácido cítrico vuelve a convertirse en ácido oxaloacético.
- ◆ Se libera CO₂, se genera NADH o FADH₂ y se produce ATP.
- ◆ El ciclo empieza de nuevo.

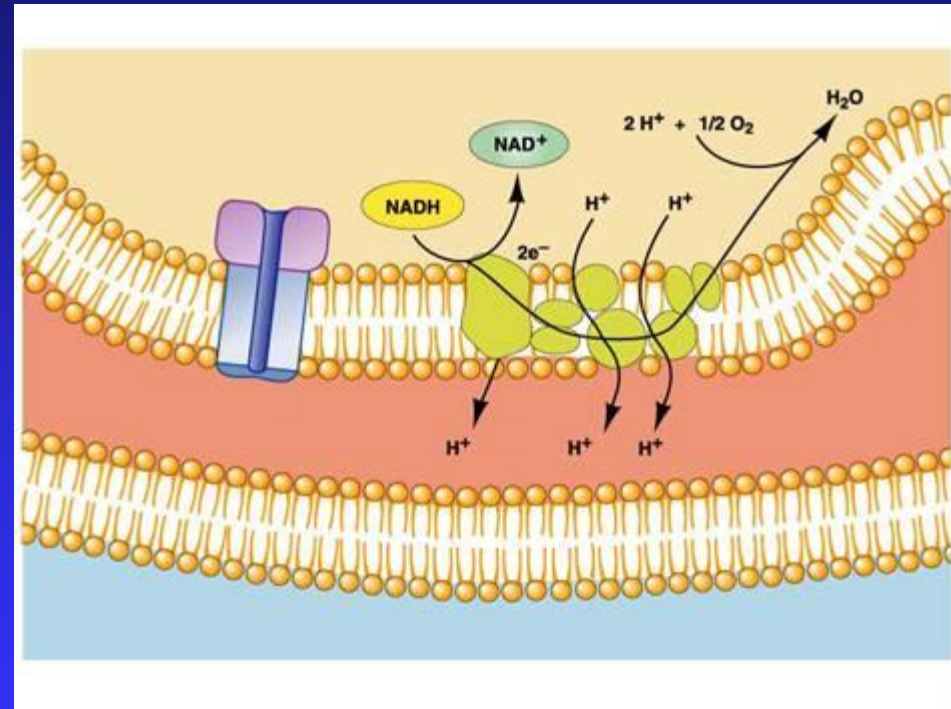
El ciclo del ácido cítrico

- La molécula de glucosa se degrada completamente una vez que las dos moléculas de ácido pirúvico entran a las reacciones del ácido cítrico.
- Este ciclo puede degradar otras sustancias que no sean acetil-coA, como productos de la degradación de los lípidos y proteínas, que ingresan en diferentes puntos del ciclo, y se obtiene energía.



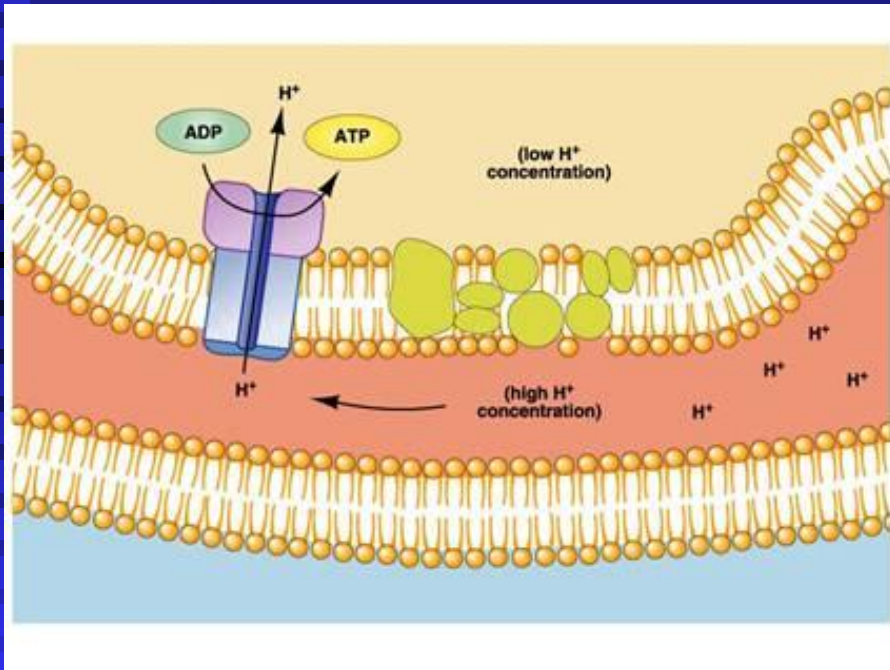
La cadena de transporte de electrones

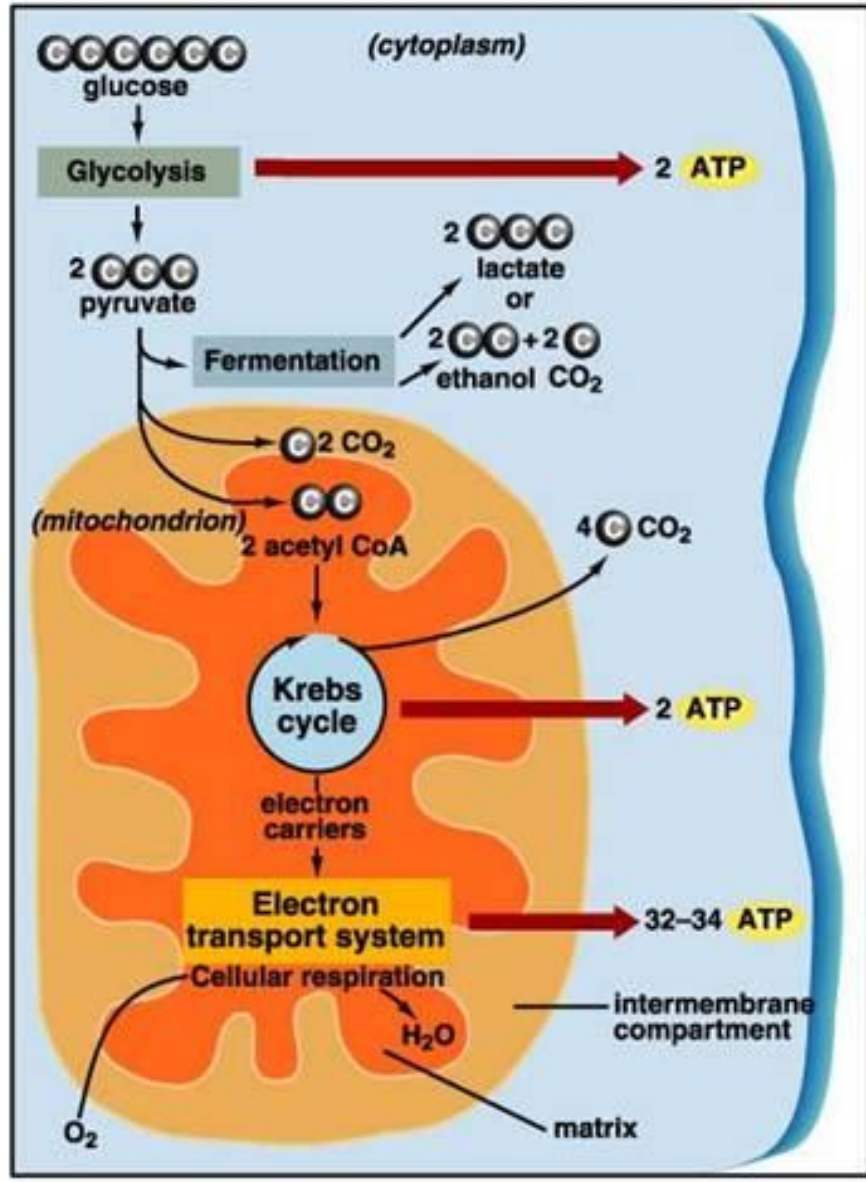
- En el ciclo del ácido cítrico se ha producido CO_2 , que se elimina, y una molécula de ATP.
- Sin embargo, la mayor parte de la energía de la glucosa la llevan el NADH y el FADH₂, junto a los electrones asociados.
- Estos electrones sufren una serie de transferencias entre compuestos que son portadores de electrones, denominados **cadena de transporte de electrones**, y que se encuentran en las **crestas de las mitocondrias**.



La cadena de transporte de electrones

- Uno de los portadores de electrones es una **coenzima**, los demás contienen hierro y se llaman **citocromos**.
- Cada portador está en un nivel de energía más bajo que el anterior, y la energía que se libera se usa para formar ATP.
- Esta cadena produce **32 moléculas de ATP** por cada molécula de glucosa degradada, que más **2 ATP de la glucólisis** y **2 ATP del ciclo del ácido cítrico**, hay una ganancia neta de **36 ATP por cada glucosa** que se degrada en **CO₂ y H₂O**.





Respiración anaeróbica

- No todas las formas de respiración requieren oxígeno.
- Algunos organismos (bacterias) degradan su alimento por medio de la **respiración anaeróbica**.
- Aquí, el **aceptor final de electrones es otra sustancia inorgánica diferente al oxígeno**.
- Se produce **menos ATP** que en la respiración aeróbica.

FERMENTACIÓN

- Es la degradación de la glucosa y liberación de energía utilizando **sustancias orgánicas** como aceptores finales de electrones.
- Algunos organismos como las bacterias y las células musculares, pueden producir energía mediante la fermentación.
 - ◆ La primera parte de la fermentación es la glucólisis.
 - ◆ La segunda parte difiere según el tipo de organismo.

