



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia
Unidad de Aprendizaje de Bioquímica

CADENA RESPIRATORIA I

Dra. María Uxúa Alonso Fresán



ORGANISMOS AEROBIOS

- Las **células aerobias**, especialmente las de los organismos multicelulares, **contienen miles de proteínas complejas que utilizan la energía del enlace químico**.
- Su **estructura** está **diseñada** de forma que pueda **formar ATP** o en algunos casos **GTP**.
- La **energía liberada por la hidrólisis del nucleótido** inicia un conjunto ordenado de **cambios de forma en la proteína** que culmina con la **realización de su tarea biológica**.

UTILIZACIÓN DE ENERGÍA EN ORGANISMOS AEROBIOS

- La estructura y el complejo funcionamiento de las células eucariotas se mantienen gracias a las cantidades extraordinariamente elevadas de ATP que pueden generar.
- Esta capacidad se hace posible por su habilidad para utilizar el oxígeno como aceptor terminal de los electrones que se extraen de las moléculas combustibles.

UTILIZACIÓN DE ENERGÍA EN ORGANISMOS AEROBIOS

- La diferencia de la capacidad generadora de energía entre los aerobios y anaerobios está directamente relacionada con las propiedades físicas y químicas del oxígeno.
- Éste posee propiedades que combinadas han hecho posible un mecanismo muy favorable de extracción de la energía de las moléculas orgánicas.

UTILIZACIÓN DE ENERGÍA EN ORGANISMOS AEROBIOS

- Una de sus principales propiedades es que se encuentra en todas partes de la superficie de la Tierra, otra es que el oxígeno difunde fácilmente a través de las membranas celulares, lo que no ocurre con otros aceptores de electrones.
- Además es muy reactivo, de forma que acepta fácilmente los electrones.



ORGANISMOS ANAEROBIOS

- Otros organismos pueden generar energía con rutas anaerobias de transporte de electrones pero son estructuras relativamente sencillas.

CADENA DE TRANSPORTE DE ELECTRONES (CTE)

- Es un conjunto de transportadores electrónicos situados en la membrana mitocondrial interna, en orden creciente de afinidad electrónica, que transfiere los electrones que proceden de las coenzimas reducidas hasta el oxígeno.
- Durante esta transferencia se produce una disminución del potencial de oxidación-reducción.

RESPIRACIÓN AEROBIA

- Este proceso en el que se utiliza el oxígeno para generar energía a partir de las moléculas de alimento, se llama **respiración aerobia**.
- La energía que se libera durante la transferencia electrónica está **acoplada** a varios procesos endergónicos, de los que el más importante es **la síntesis de ATP**.



FOSFORILACIÓN OXIDATIVA

- La fosforilación oxidativa es el mecanismo complejo mediante el cual las células aerobias fabrican el ATP.



GENERACIÓN DE CALOR EN LOS ORGANISMOS AEROBIOS

- Otros procesos que impulsan el transporte electrónico bombean calcio dentro de la matriz mitocondrial y generan calor en el tejido adiposo pardo.

PROCEDENCIA DE LOS COMPONENTES DE LA CTE

- Las coenzimas reducidas que proceden de la glucólisis, ciclo del ácido cítrico y oxidación de ácidos grasos, son las principales fuentes de electrones.

COMPONENTES DE LA CTE

- Los componentes de la CTE de los eucariotas **se encuentran en la membrana mitocondrial interna**. La mayoría de los componentes **están organizados en cuatro complejos**, cada uno consta de **varias proteínas y grupos prostéticos**.

Componentes del transporte electrónico

Los componentes de la CTE de los eucariotas se encuentran en la membrana mitocondrial interna (Fig. 10-1). La mayoría de los componentes están organizados en

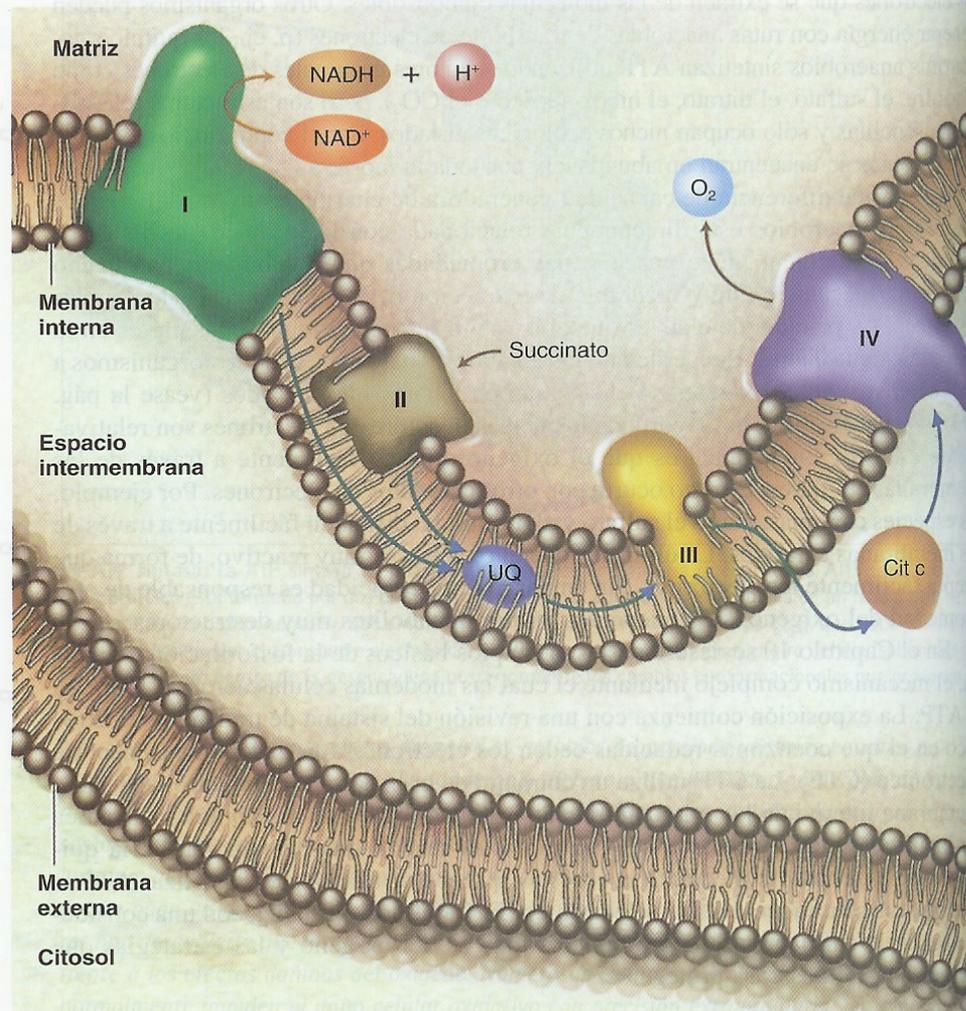


FIGURA 10-1
Cadena de transporte electrónico.

Los complejos I y II transfieren los electrones desde el NADH y el succinato, respectivamente, a la UQ. El complejo III transfiere los electrones desde la UQH₂ al citocromo c. El complejo IV transfiere los electrones desde el citocromo c al O₂. Las flechas representan el flujo de electrones.

COMPLEJO I (COMPLEJO NADH DESHIDROGENASA)

- Cataliza la transferencia de electrones desde NADH hasta la UQ (ubiquinona).
- Las principales fuentes de NADH son varias reacciones del ciclo del ácido cítrico y la oxidación de los ácidos grasos.
- Es el complejo más grande de la membrana interna y está formado por lo menos por 25 péptidos diferentes.
- Además de una molécula de FMN, contiene varios centros hierro-azufre.

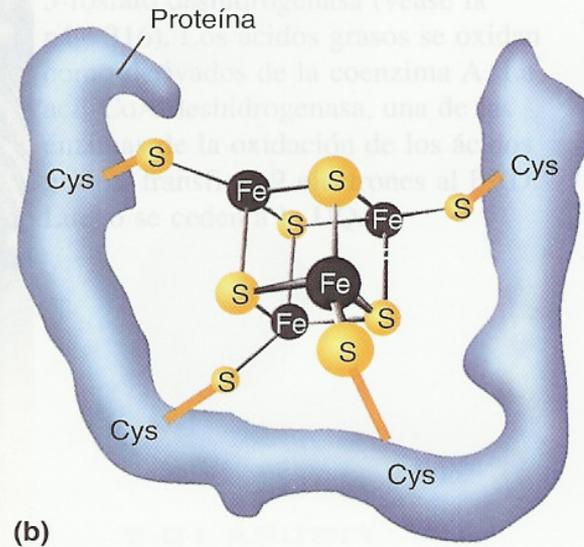
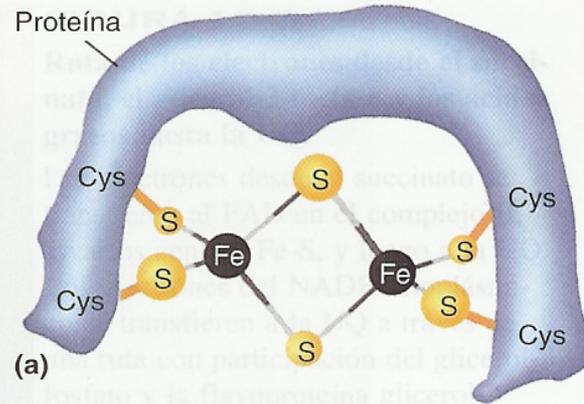


FIGURA 10-2

Centros hierro-azúfre (a) 2 Fe, 2 S y
b) 4 Fe, 4 S.

Los residuos de cisteína son parte de un polipéptido.

COMPLEJO I (COMPLEJO NADH DESHIDROGENASA)

Estos **centros** pueden constar de dos a cuatro átomos de hierro formando complejo con un número igual de iones sulfuro, que hacen de **intermediarios en las reacciones de transferencia de 1 electrón**.

- Estas son proteínas con hierro no hemo.
- Se cree que la NADH reduce al FMN a FMNH_2 y luego se transfieren los electrones a la UQ.
- La transferencia de electrones a través del complejo I va acompañado por el movimiento de protones desde la matriz a través de la membrana interna al interior del espacio intermembrana.

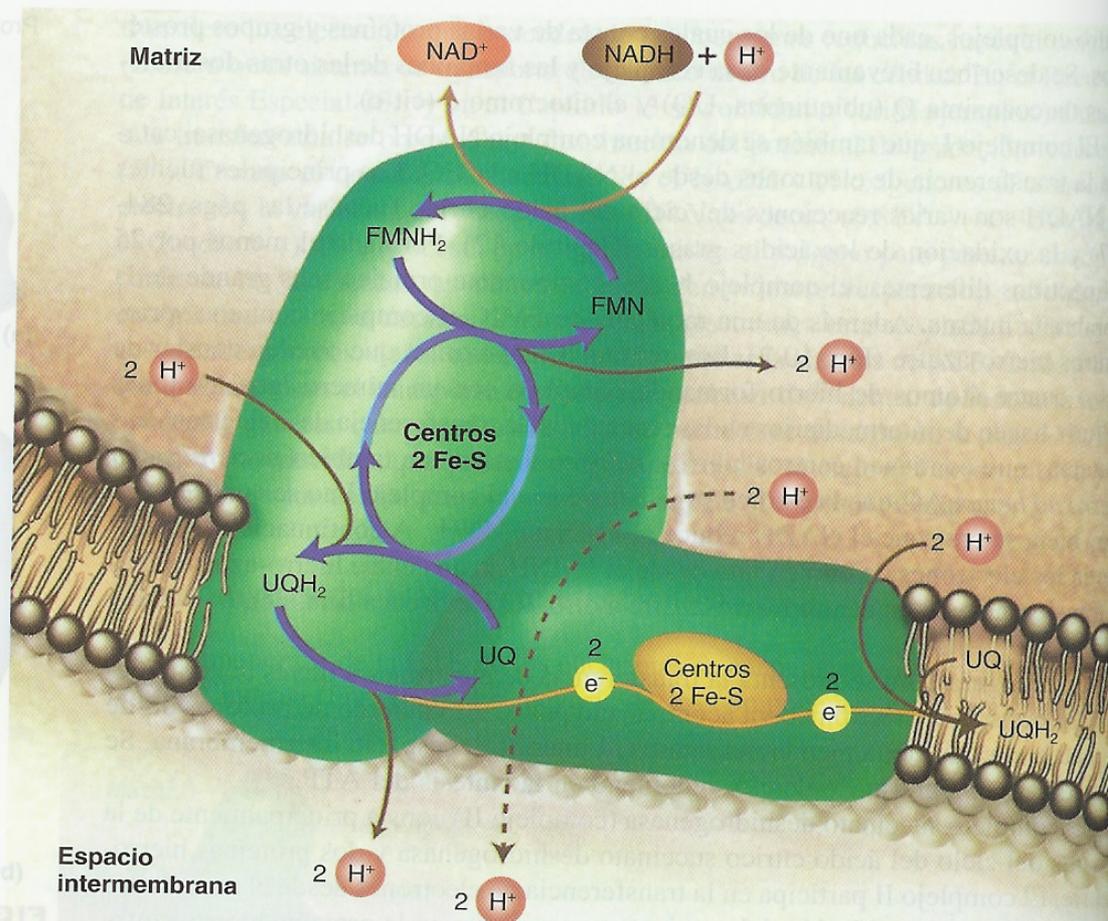


FIGURA 10-4

Transferencia de electrones a través del complejo I de la cadena de transporte electrónico mitocondrial.

La transferencia de electrones comienza con la reducción del FMN por el NADH, un proceso que requiere 1 protón de la matriz. A continuación el FMNH₂ transfiere un par de electrones a seis u ocho centros Fe-S. (Debido a que no se conoce la ruta de los electrones, sólo se muestran cuatro centros Fe-S.) La transferencia secuencial de los 2 electrones al primer centro Fe-S libera en última instancia 4 protones al espacio intermembrana. No está claro el mecanismo por el que se transfieren estos protones a través de la membrana. Sin embargo, se cree que en la transferencia de dos de los protones participa una UQ interna. El segundo par de protones se transfiere al pasar secuencialmente los 2 electrones desde la UQ interna a través de una serie de centros Fe-S a una UQ externa.

COMPLEJO II (COMPLEJO SUCCINATO DESHIDROGENASA)

- Consta principalmente de la enzima del ciclo del ácido cítrico succinato deshidrogenasa y dos proteínas hierro-azufre.
- Este complejo participa en la transferencia de electrones desde el succinato hasta la UQ.

COMPLEJO II (COMPLEJO SUCCINATO DESHIDROGENASA)

- Contiene también un **FAD** unido covalentemente. También ceden electrones a la UQ otras flavoproteínas.
- La acil-CoA deshidrogenasa, la primera enzima de la oxidación de los ácidos grasos, transfiere los electrones a la UQ desde el lado de la matriz de la membrana interna.

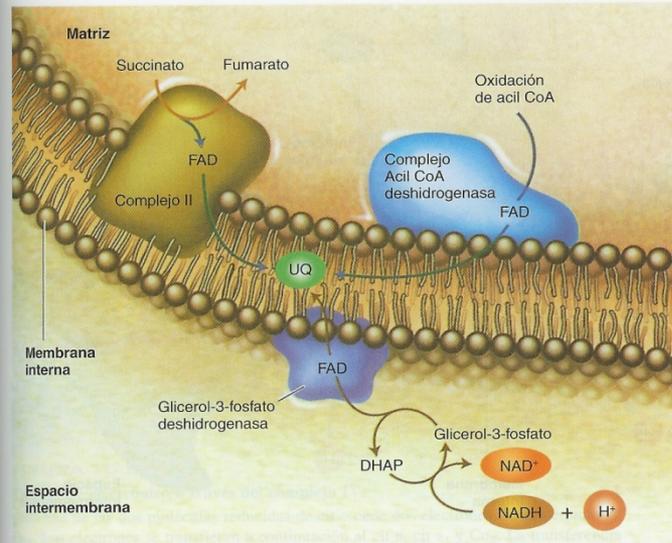


FIGURA 10-5

Ruta de los electrones desde el succinato, el glicérol-3-fosfato y los ácidos grasos hasta la UQ.

Los electrones desde el succinato se transfieren al FAD en el complejo II, a varios centros Fe-S, y luego a la UQ. Los electrones del NADH citoplásmico se transfieren a la UQ a través de una ruta con participación del glicérol-3-fosfato y la flavoproteína glicérol-3-fosfato deshidrogenasa (véase la pág. 316). Los ácidos grasos se oxidan como derivados de la coenzima A. La acil-CoA deshidrogenasa, una de las enzimas de la oxidación de los ácidos grasos, transfiere 2 electrones al FAD. Luego se ceden a la UQ.

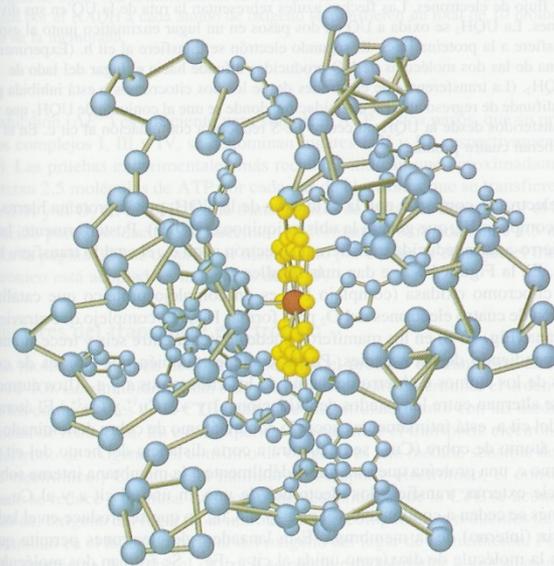


FIGURA 10-6

Estructura del citocromo c.

El citocromo c es un ejemplo de citocromo, una clase de proteínas pequeñas, cada una de las cuales posee un grupo prostético hemo. Durante el proceso de transporte electrónico, el hierro del hemo se oxida y se reduce alternativamente.

La cadena de transporte electrónico es un conjunto de complejos formados por transportadores electrónicos que se encuentran en la membrana mitocondrial interna de las células eucariotas.

COMPLEJO III (CITOCROMO bc1)

- Transfiere los electrones desde la coenzima UQ reducida (UQH₂) al citocromo c.
- Contiene dos citocromos de tipo b, un citocromo c1 (cit c1) y un centro hierro-azufre. Los citocromos son un conjunto de proteínas de transporte de electrones que contiene un grupo prostético hemo semejante a los de la hemoglobina y la mioglobina.

COMPLEJO III (CITOCROMO bc1)

- Los electrones se transfieren de uno en uno y se reduce de forma reversible un átomo de hierro oxidado. Aquí el movimiento de electrones es complejo.

UBIQUINONA

- **Es liposoluble** y **difunde dentro de la membrana interna** entre los donadores de electrones de los complejos I o II y el aceptor de electrones del complejo III.

UBIQUINONA

- La transferencia de electrones comienza con la oxidación de la UQH₂ por la proteína hierro-azufre del complejo III, que genera la ubisemiquinona, luego la proteína hierro-azufre reducida transfiere un electrón al cit c₁, el cual lo transfiere luego al cit c.

COMPLEJO IV (CITOCROMO OXIDASA)

- Es un complejo proteínico que **cataliza la reducción de cuatro electrones del oxígeno para formar agua.**
- El complejo que atraviesa la membrana en los mamíferos **puede contener entre seis y trece subunidades,** dependiendo de las especies.
- **Puede contener** también **dos átomos de cobre,** además de los átomos de hierro del hemo de los citocromos a y a3.

COMPLEJO IV (CITOCROMO OXIDASA)

- El citocromo c transfiere los electrones de uno en uno al cit a y al CuA. Los electrones se ceden a continuación al cit a₃ y al CuB, lo que se produce en el lado de la matriz de la membrana.
- Se forman dos moléculas de agua.

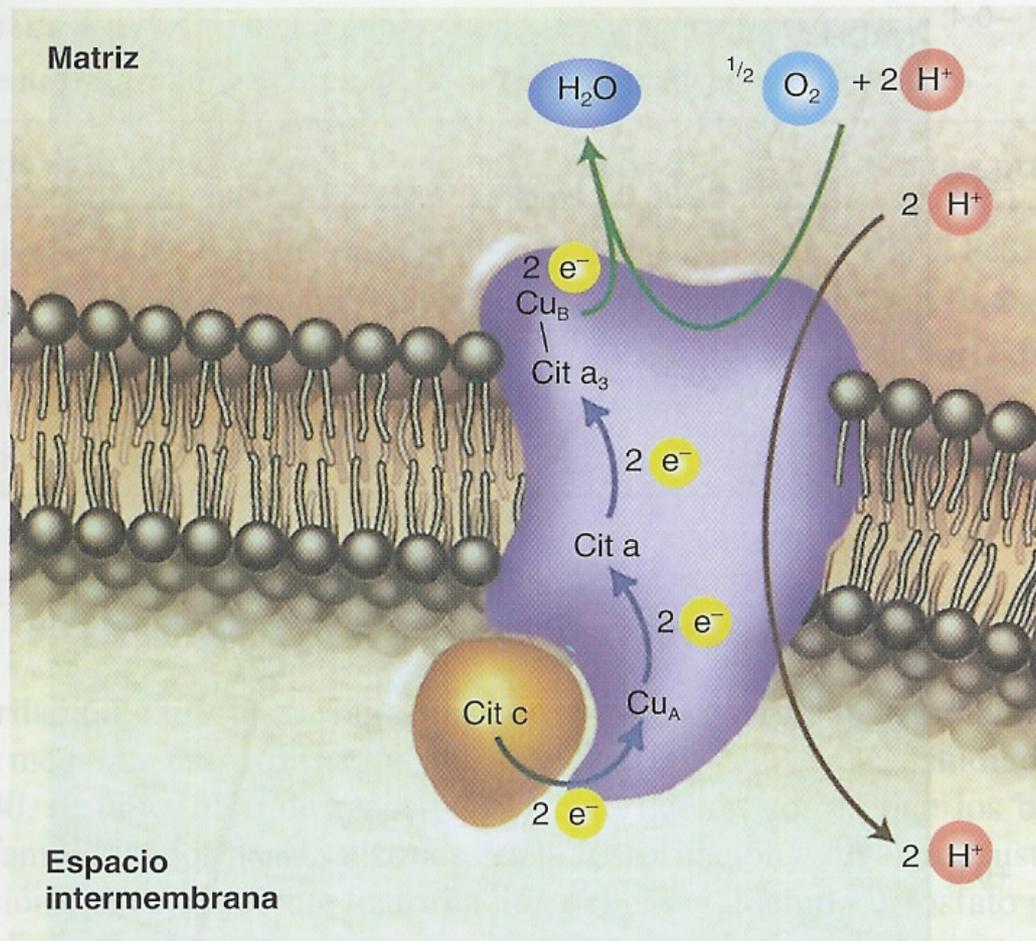


FIGURA 10-8

Transporte electrónico a través del complejo IV.

Cada una de las dos moléculas reducidas de cit c cede dos electrones de uno en uno al Cu_A. Los electrones se transfieren a continuación al cit a, cit a₃ y Cu_B. La transferencia de un total de cuatro electrones desde el cit c convierte al O₂ y cuatro protones en dos moléculas de agua. (La semirreacción se presenta en la figura.) Por cada par de electrones donados por el NADH a cada átomo de oxígeno se transfieren un total de 10 protones a través de la membrana.

REACCIONES DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN (REDOX)

- Durante cada reacción redox secuencial de la CTE, un electrón pierde energía.
- Durante la oxidación del NADH hay tres pasos en los que la variación de potencial es suficiente para sintetizar ATP.

CANTIDAD DE ATP FORMADO

- Estos pasos, que se producen en los complejos I, III y IV, se denominan lugares I, II y III. Aproximadamente se sintetizan 2.5 moléculas de ATP por cada par de electrones que se transfieren entre el NADH y el oxígeno en la CTE.
- En la transferencia de cada par donado por el FADH_2 producido por la oxidación del succinato se forman aproximadamente 1.5 moléculas.

INHIBIDORES DE LA CADENA DE TRANSPORTE DE ELECTRONES

- **Antimicina A** inhibe al cit b
- **Rotenona y amital**, inhiben al complejo I
- **Monóxido de carbono (CO), azida (N₃⁻) y cianuro (CN⁻)** inhiben la citocromo oxidasa.

BIBLIOGRAFÍA

- Campbell, M.K. y Farrell, S.O. Bioquímica. 2009. 6ª Edición. CENGAGE Learning. México.
- Champe P.C., Harvey R.A. y Ferrier, D.R. Bioquímica. 2006. Bioquímica. Harvey R.A. y Champe P.C. editores. 3ª edición. McGraw–Hill Interamericana. México.
- Horton H.R., Moran L.A., Scrimgeour K.G., Perry M.D. y Rawn J.D. Principios de Bioquímica. 2008. 4ª Edición. Pearson Educación. México

BIBLIOGRAFÍA

- Mathews C.K., Van Holde K.E. y Ahern K.G. 2002. Bioquímica. Pearson educación S.A. 3ª edición. España.
- McKee T. McKee J.R. 2009. Bioquímica. Las bases moleculares de la vida. 4ª edición. McGraw–Hill Interamericana. México.
- Murray R.K., Mayes, P.A., Granner D.K. y Rodwell, V.W. 2004. Harper. Bioquímica Ilustrada. 16a. edición. El Manual Moderno. México.