

Flujos de Energía en los Seres Vivos y Ecosistemas: la energía de las células

DAVID A. PÉREZ-AGUILAR

Posgrado en Ciencias Biológicas, Unidad de Recurso Naturales,
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY). Calle 43, No. 130 x 32 y 34,
Col. Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México
david.perez@cicy.mx

Todos nos hemos hecho preguntas raras como ¿Qué es la vida? ¿Cuál es la energía que nos anima? ¿Tendremos alma? o ¿Por qué necesitamos respirar para vivir? Existe una molécula que se encarga de animar a los seres vivos, da la energía que requieren para moverse, reaccionar, crecer, realizar sus funciones orgánicas y todo lo que necesitan para permanecer vivos. Se trata del adenosintrifosfato o ATP, a veces llamada “moneda energética”, que es capaz de almacenar energía en una forma en que las células pueden usar. La forma en que se elabora esta molécula es muy interesante y es una de las bases para entender el funcionamiento de los seres vivos y los ecosistemas.

Palabras clave: ecología, vida, energía, ATP, sistemas energéticos.

Puede decirse que la vida es un fenómeno donde la materia se encuentra organizada respondiendo a información contenida en los genes, en base a los cuales logra su crecimiento y replicación en contra de la tendencia del universo a permanecer estable, sin organización y con sus elementos mezclados uniformemente. Esto puede observarse en la entropía o desorden hacia el que tienden los sistemas energéticos, lo que se relaciona con la segunda ley de la termodinámica, que señala la tendencia hacia el equilibrio de estos sistemas. Estos principios que inicialmente fueron usados para estudiar en máquinas de vapor, puedan igualmente ser usados para estudiar seres vivos a nivel molecular (Raven *et al.*, 1999), lo cual puede resultar muy didáctico.

En los seres vivos, podemos observar un comportamiento muy parecido a la segunda ley de la termodinámica y la entropía, que establecen que un sistema energético tiende al equilibrio y desorden; por ejemplo, en la descomposición de una planta, que inició su existencia como una semilla en medios equilibrados, homogéneos y con poca organización como son el suelo y el aire, de los que obtuvo las sustancias que necesitó para crecer y con ellas formó estructuras muy complejas y organizadas que, en última instancia, le permitieron replicarse. Pero al morir, las estructuras del organismo perderán su organización liberando su energía almacenada en un proceso conocido como descomposición, hasta que la materia que formó a la planta se descomponga en sustan-

cias muy simples incorporándose nuevamente al suelo y al aire.

Uso de energía en los seres vivos: ¿Para qué quieren ATP?

¿Cómo logró la planta del ejemplo previo crecer en contra de la tendencia al equilibrio, desorden y estabilidad? Pues usó energía, necesaria para realizar todas sus funciones (Bustamante, 2008) en contra de la tendencia hacia la entropía. De estas funciones depende la continuidad de la vida de la célula, que lucha por no caer en estado de equilibrio con su ambiente, por lo que debe aislarse de este mediante membranas y al mismo tiempo realizar diversas actividades como desechar sustancias que no le son útiles, asimilar nutrientes, reemplazar estructuras desgastadas y mantener en su interior condiciones adecuadas para desarrollar procesos vitales y replicarse. Dejar de hacerlo, significa la muerte, que no debe ocurrir antes que logre reproducirse para considerarse que éste tuvo éxito.

Esta energía proviene de la luz del sol o del rompimiento de moléculas complejas como la glucosa, sin embargo, las células no pueden aprovechar directamente la luz o carbohidratos para realizar sus procesos vitales, en cambio, deben transformarla en una molécula que almacene energía mediante enlaces altamente energéticos, dicha molécula es el adenosíntrifosfato (ATP), las células la elaboran partir de adenosín-difosfato (ADP) y un ion fosfato (P) (Figura 1).

La formación del ATP

Para entender un poco mejor el proceso de la síntesis del ATP, es importante señalar que las proteínas, protones, iones, carbohidratos que se mencionarán, no son sustancias incorpóreas y amorfas; tienen una forma concreta y están compuestas por diversos elementos organizados de forma determinada, lo cual les da sus características. A nivel molecular las estructuras de los seres vivos han sido llamadas “máquinas moleculares”, formadas por pequeñas piezas, que deben interactuar con su entorno y modificar su funcionamiento en base a éste para completar su ciclo de desarrollo (Zewail, 2008). Un ejemplo de esto son las proteínas, que tienen una forma muy específica la cual determina su función (Campbell *et al.*, 2006), por ejemplo, catalizar una reacción química en un medio en equilibrio, detectar una bacteria o virus en el organismo, contraerse o transportar sustancias. Si estas funciones se observan a pequeña escala, se trata funciones mecánicas como el acoplamiento de una molécula a otra que encaja en ella (Hein *et al.*, 1997).

Una de las características del ATP es que sus moléculas de fosfato (P) representan tres cargas negativas juntas, que como los polos equivalentes en dos imanes, se repelen entre sí. Esto hace que sea una molécula muy inestable, es decir fácil de romper, y al hacerlo libera una gran cantidad de energía que puede usarse para cualquier trabajo, llamada energía libre de Gibbs, la cual es la energía disponible para realizar un trabajo en

un medio en equilibrio donde todo tiende a permanecer estable (Lehninger, 1975), sin embargo, unir estas moléculas requiere una gran cantidad de trabajo.

El proceso que une ADP con P para formar ATP es llamado fosforilación oxidativa, este no ocurre por sí mismo, necesita una inversión de energía para ocurrir, ya que las moléculas de ADP y P se repelen mutuamente. Dicha energía se obtiene gracias a la tendencia al equilibrio de los sistemas energéticos, por ejemplo, el calor que fluye de un cuerpo caliente a otro frío, igualando las temperaturas o el agua en una represa; que fluye hasta que la presión del agua sea igual en los dos lados, incluso una licuadora que funciona gracias a que los electrones fluyen de la parte electronegativa a la electropositiva de la red eléctrica. Esta tendencia al equilibrio en los sistemas energéticos puede ser aprovechada para realizar trabajo, por ejemplo, generar electricidad en una represa o central termoeléctrica de ciclo combinado o hacer salsa de tomates con una licuadora; igualmente da la energía necesaria para la síntesis de ATP. Fritz Lipmann, hipotetizó la existencia de un ciclo que genera ATP en los organismos, comparó el funcionamiento del proceso a una máquina generadora de una corriente eléctrica (Armstrong y Bennet, 1982) ya que el rompimiento y reunificación de los componentes del ATP es un ciclo del que depende la generación de energía de la célula. Por esto se dice que la mitocondria, que es uno de los organelos en los que ocurre este proceso, es la central energética de la célula.

Pero, si la fosforilación oxidativa es el generador de energía para las células ¿Qué

le da energía a este generador? En la elaboración de ATP, los protones (H^+), que son partículas con carga positiva, son usados para crear el desequilibrio en el sistema energético, es decir, una zona con una gran concentración de protones y otra con muy baja concentración. Dichas zonas se encuentran en los compartimentos internos de dos organelos de las células: las mitocondrias (presentes en plantas y animales) y los cloroplastos (solo en plantas). Estos compartimentos se encuentran separados por membranas que impiden la libre circulación de los protones a través de éstas. En cambio, las membranas cuentan con conjuntos de proteínas que transportan los protones del compartimento que tiene menos al compartimento que tiene más de ellos. Debido a que esto ocurre en contra de la tendencia al equilibrio de los sistemas energéticos, que establece que los protones fluyan de una mayor a menor concentración hasta estar en equilibrio y no de la menor concentración a la mayor concentración formando un estado desequilibrado, las proteínas transportadoras de protones necesitan energía para realizar su tarea, la cual es provista por una cadena de transporte de electrones (que son partículas sub-atómicas con carga eléctrica negativa) provenientes de la clorofila o del rompimiento de moléculas ricas en energía como carbohidratos y proteínas, que son la fuente de energía para realizar este proceso, permitiendo a estas proteínas movilizar a los protones en contra de la tendencia al equilibrio.

Para poder comprender el último paso de la síntesis de ATP, hay que explicar qué es una enzima: una molécula formada por pro-

teínas cuya función es facilitar que ocurra una reacción química en un medio donde esta no ocurriría espontáneamente. Se ha planteado que esto ocurre debido a que el acoplamiento de la enzima con la sustancia que modifica, cambia la estructura de esta, debido a que la enzima se mueve (Karplus *et al.*, 2005), por lo que la sustancia que quiere modificar se vuelve inestable, reduciendo la cantidad de energía necesaria para que esta cambie de forma, se rompa o se una a otra molécula (Hammes-Schiffer y Benkovic, 2006).

Entonces, cuando la concentración de protones en uno de los compartimientos de la mitocondria o el cloroplasto es lo suficientemente alta, es decir, que el sistema energético se encuentre en desequilibrio, el proceso culmina en la enzima ATP sintasa, que, con fines didácticos, puede describirse como una pequeña máquina, compuesta de dos unidades llamadas complejos F₀ y F₁, la primera se trata de un conducto que une los compartimientos con distintas concentraciones de protones (H⁺), a través de la membrana que los divide, mientras la segunda unidad bloquea el paso de los protones, que se ven obligados a fluir a través de ella debido a que los protones quieren estar en equilibrio en ambos compartimientos, lo cual le da movimiento a esta unidad (Figura 2 A y https://www.youtube.com/watch?v=CN2XOe_c0iM). El movimiento del complejo F₁ aún se trata de comprender, sin embargo, se cree que es una rotación de sus diversos componentes que unen el ADP con el P para formar el ATP (Lodish *et al.*, 1995; Raven *et al.*, 1999) (Figura 2 B).

En resumen: la energía de la luz y molé-

culas complejas es usada para crear un flujo de electrones que hacen funcionar a las proteínas transportadoras, que elevan el nivel de (H⁺) en un compartimiento mientras lo reducen en otro; entonces, para poder equilibrar la concentración de protones entre compartimientos, estos se ven obligados a pasar por la enzima ATP sintasa, gracias a lo cual esta se mueve y une las moléculas que forman al ATP (Figura 3).

Por último, la respiración entra en este ciclo debido a que la corriente de electrones usada por las proteínas para transportar protones, necesita una salida del sistema, de forma que otros electrones puedan entrar y mantener la circulación. En los organismos aeróbicos esto se da reduciendo el oxígeno, el cual juega el papel de aceptor terminal de electrones, es decir, absorbe los electrones al final de la cadena de transporte y sale del organismo como dióxido de carbono (Campbell *et al.*, 2003) que exhalamos en la respiración. Esta molécula es usada por las plantas, para elaborar moléculas complejas y ricas en energía, mediante la fotosíntesis, una maravilla que alimenta casi toda la vida de la Tierra.

Todo lo anterior es uno de los ciclos más importantes de la biósfera: la materia inanimada que cobra vida gracias a la información genética y a la energía del sol, para luchar por su existencia en un estado tan inestable como lo es la vida, el tiempo suficiente para replicarse y finalmente morir, dando lugar a la descomposición y reciclaje de las sustancias que formaron al ser vivo. Es fascinante conocer una de las bases más importantes que sustentan al fenómeno de la vida.

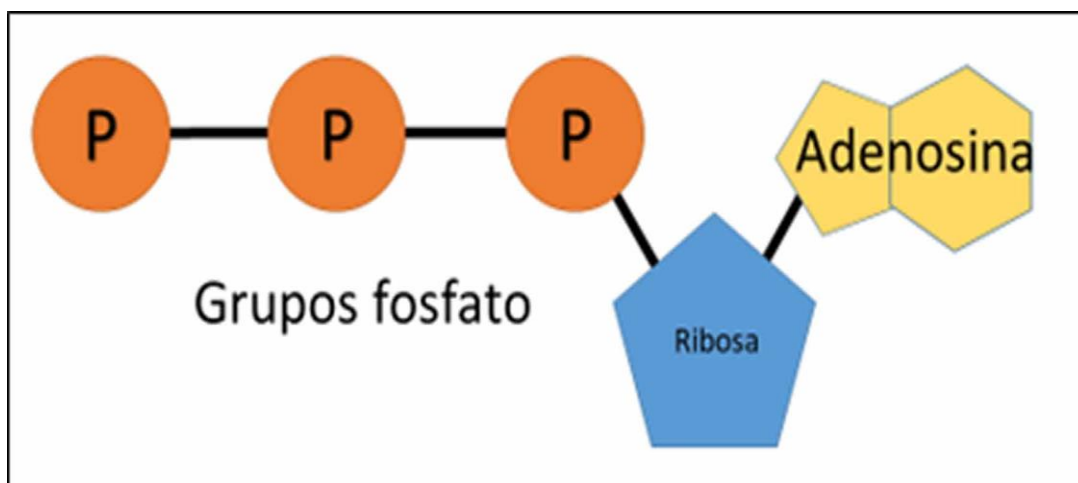


Figura 1. Diagrama de la molécula de adenosíntrifosfato o ATP. (Original de D.A. Pérez-Aguilar)

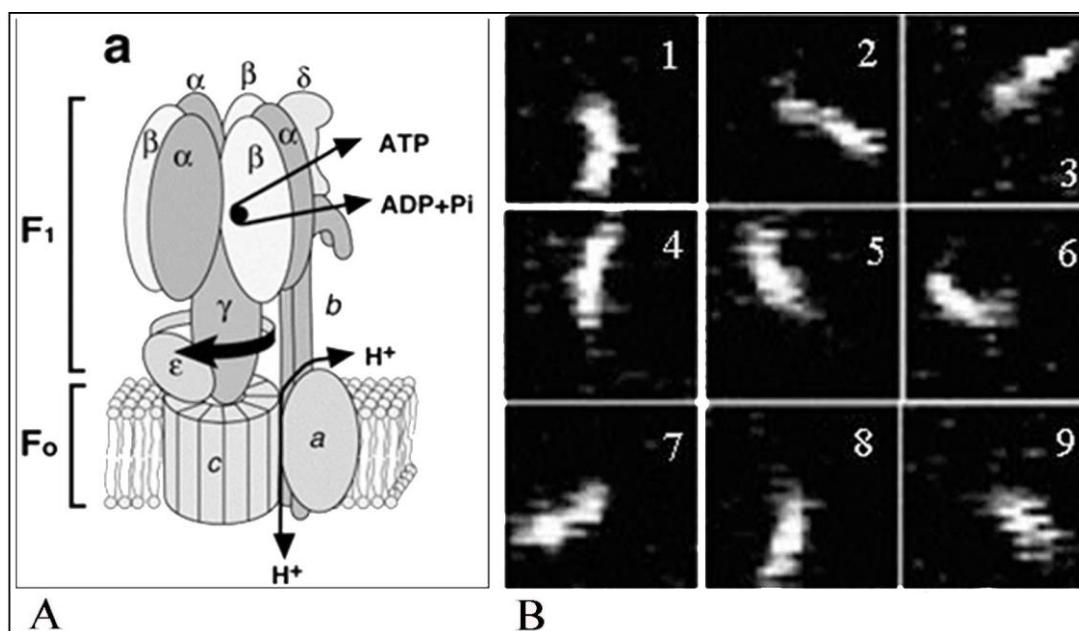


Figura 2 A. Diagrama de la estructura de ATP sintasa, y **B.** Movimiento de rotación de un filamento de actina unido a una de las subunidades β de la enzima ATP sintasa. (Tomado de Wada *et al.*, 2000).

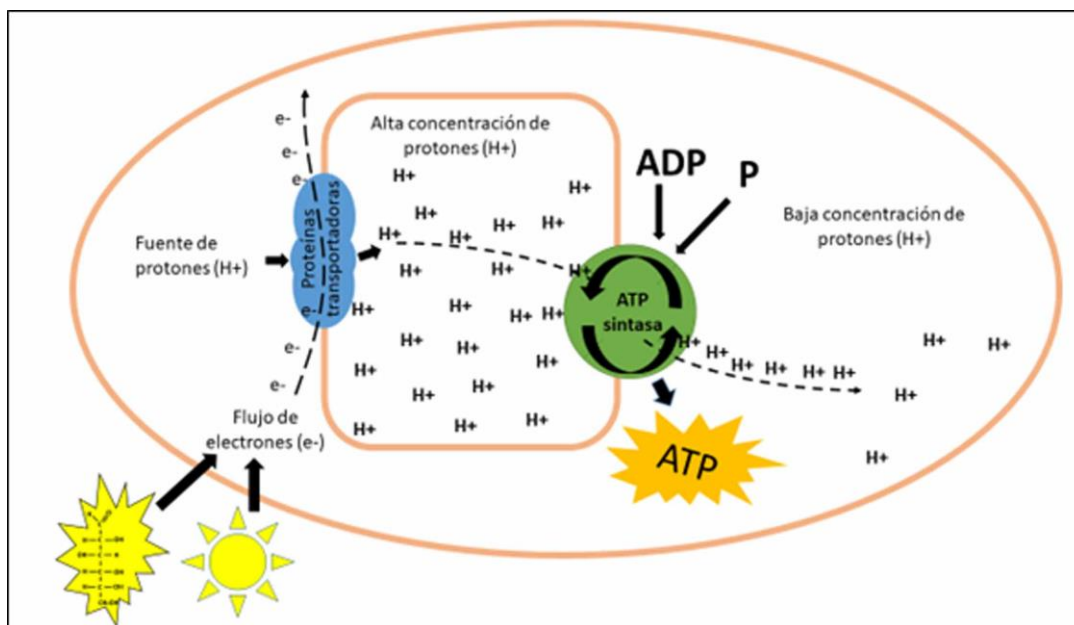


Figura 3. Esquema del proceso de producción de ATP por fosforilación oxidativa: una alta concentración de electrones es producida gracias a un conjunto de proteínas que funcionan por una corriente de electrones (e^-) creada a partir de la luz del sol o al rompimiento de moléculas ricas en energía como la glucosalos, gracias a lo cual los protones (H^+) fluyen de mayor a menor concentración, dando movimiento a la ATP sintasa que une ADP con P formando ATP. (Original de D.A. Pérez-Aguilar).

Referencias

- Armstrong F. y Bennett T.** 1982. *Biochemistry*. 1a ed. Reverté. Barcelona. 232 pp. Traducido por Cuchillo, C.
- Bustamante C.J.** 2008. Physical biology in the crossroads, en: Zewail, A. H. (ed). *Physical biology: From atoms to medicine*. pp. 115-135. GB: Imperial College Press.
- Campbell N.A., Reece J.B., Mitchell L.G. y Taylor M.R.** 2003. *Biology Concepts & Connections*. 4a ed. Pearson. United States of America. 93-95 pp.
- Campbell N. A., Reece J.B., Taylor M.R. y Simon E.J.** 2006. *Biology Concepts & connections*. 5a ed. Pearson. United States of America. 43-45 pp.
- Hammes-Schiffer S., y Benkovic S.J.** 2006. Relating protein motion to catalysis. *Annual Review of Biochemistry* 75: 519-541.
- Hein M., Best L.R., Pattison S. y Arena S.** 1997. *Introduction to General, Organic, and Biochemistry*. 6a ed. Brooks/Cole. United States of America. 832-870 pp.
- Karplus M., Kuriyan J. y Berne B.J.** 2005. Molecular dynamics and protein

- function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102: 6679-6685.
- Lehninger A. 1975.** *Biochemistry*. 2a ed. Worth publishers. United States of America. 389-391 pp.
- Lodish H., Baltimore D., Berk A., Lawrence-Zipursky S., Matsudaira P. y Darnell J. 1995.** *Molecular Cell Biology*. 3a ed. Scientific American Books. United States of America. 751-758 pp.
- Raven P.H., Evert R.F. y Eichhorn S.E. 1999.** *Biology of Plants*. 6a ed. Worth publishers. United States of America. 94-156 pp.
- Wada Y., Sambongi Y. y Futai M. 2000.** Biological nano motor, ATP synthase FoF1: from catalysis to γ cc10–12 subunit assembly rotation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1459: 499-505.
- Zewail A.H. 2008.** Physical biology 4D visualisation of complexity, en: Zewail, A. H. (ed). *Physical biology: From atoms to medicine..* pp 23-49. GB: Imperial College Press.

Desde el Herbario CICY, 10: 96–102 (10-Mayo-2018), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 232, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano y Lilia Lorena Can Itza. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 23 de noviembre de 2017. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.