

Un viaje desde la luz solar y el anhídrido carbónico hasta la glucosa

Angel Herráez

Bioquímica y Biología Molecular
Dep. de Biología de Sistemas,
Universidad de Alcalá (Alcalá de Henares, Madrid)

Estimados bioquímicos:

En esta ocasión recupero la costumbre de compartir materiales que os puedan resultar útiles para agilizar el aprendizaje de vuestros alumnos. En torno al tema de la fotosíntesis, uno de los más bonitos pues aborda la esencia de la vida, cómo la materia inorgánica se convierte en materia orgánica y biomoléculas, impulsada por la energía radiante del Sol, presento un crucigrama y una serie de esquemas de dicha ruta metabólica.

Como en entregas anteriores [1-3], propongo el uso de crucigramas como un recurso que puede dinamizar a los estudiantes para reforzar el uso correcto de la terminología y para repasar conocimientos.

El segundo material es un intento de desdramatizar la cadena de reacciones que forman parte del ciclo de Calvin, o cómo se consigue fijar el CO_2 en carbono orgánico. Espero que os resulten de provecho con vuestros alumnos. ■

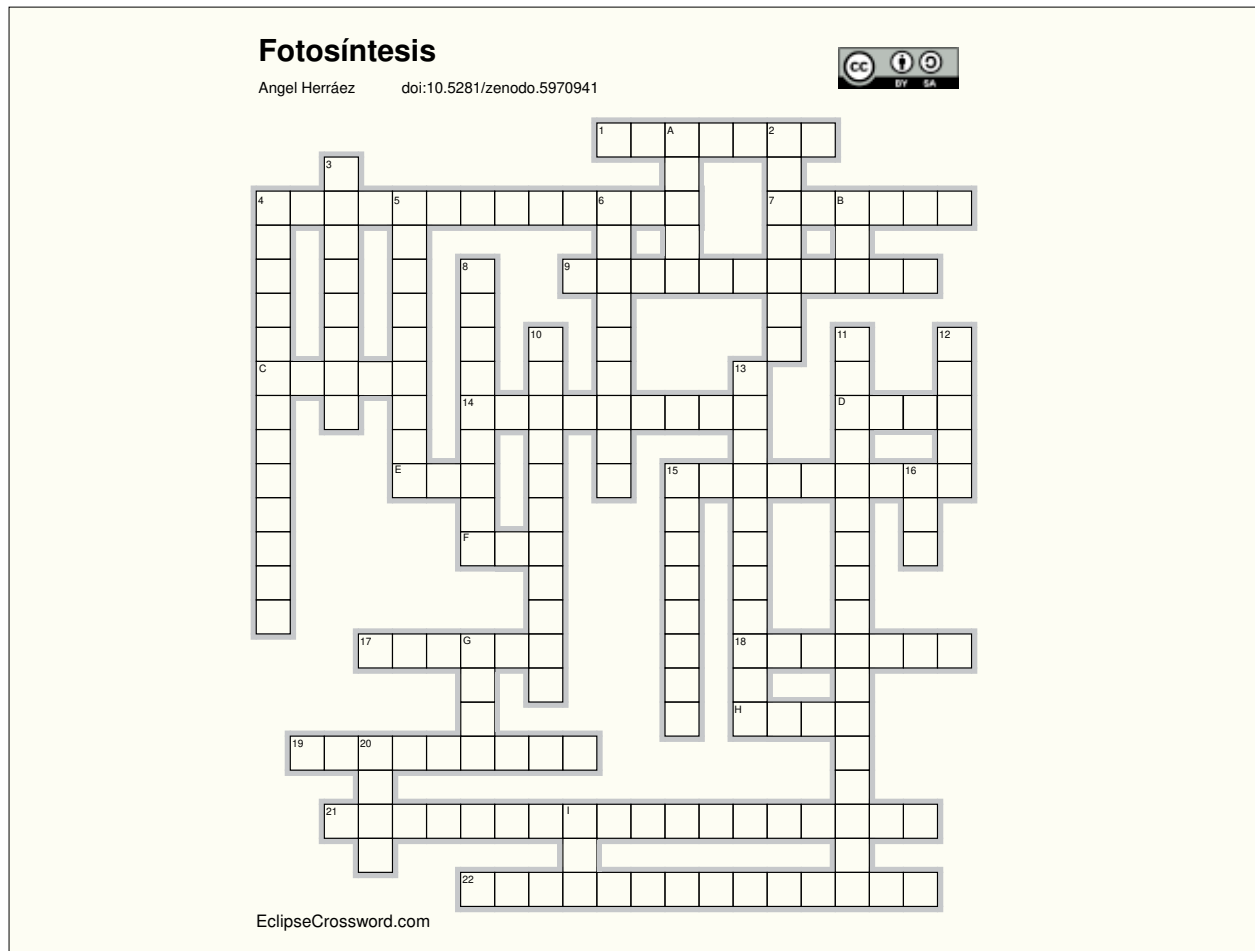
REFERENCIAS

1. A. Herráez (2018) Aprender entrecruzando. Revista SEBBM 195, 39-40.
2. A. Herráez (2019) Aprender entrecruzando (II). Revista SEBBM 200, 41.
3. A. Herráez (2020) Aprender entrecruzando (III). Revista SEBBM 203, 32-33.



Aprender entrecruzando (IV): fotosíntesis

Este crucigrama está disponible en el repositorio europeo Zenodo con doi:10.5281/zenodo.5970941 bajo la licencia *Creative Commons Reconocimiento-Compartir Igual* (CC BY-SA).



Horizontales

1. Enzima capaz de fijar el CO₂ uniéndolo a un monosacárido.
 4. Molécula liposoluble que interviene en el transporte electrónico entre el fotosistema II y el I.
 7. Otro nombre de la ATP sintasa cloroplástica.
 9. Moléculas de tipo quinona presentes en el fotosistema I.
 14. Para activarse, la Rubisco debe combinarse con una molécula de CO₂ formándose un grupo...
 15. Pigmento fotosintético primario.
 17. Las reacciones independientes de la luz forman el llamado ciclo de ...
 18. Espacio fluido del interior del cloroplasto.
 19. Proceso de ruptura de la molécula de agua realizado por el foto-sistema II.
 21. Nombre de las moléculas de clorofila capaces de liberar electrones reduciendo a una molécula aceptora.
 22. Moléculas de tipo quinona presentes en el fotosistema II (plural).
- C. Acebuche.
 D. Prefijo para indicar 10¹²
 E. Primera mujer.
 F. Período de la Tierra alrededor del Sol.
 H. Índigo.


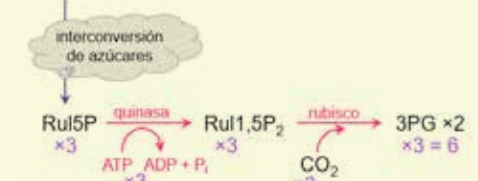
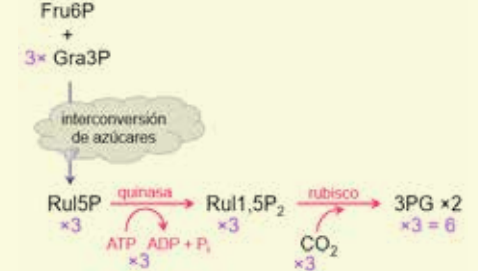
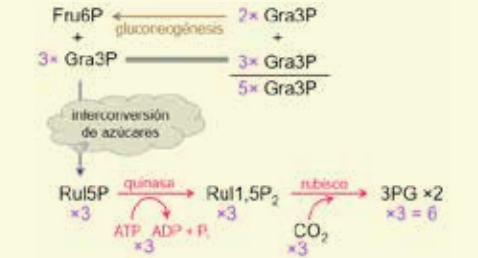
Verticales

1. Enzima capaz de fijar el CO₂ uniéndolo a un monosacárido.
 4. "Fotofosforilación", variante en la que no se genera NADPH.
 3. Catión requerido por la Rubisco para su actividad.
 4. Proteína soluble que interviene en el transporte electrónico entre el fotosistema II y el I.
 5. Compartimento del cloroplasto donde tienen lugar la captación de luz y las reacciones que dependen de ella.
 6. Rubisco tiene actividad carboxilasa y ...
 8. Enzima responsable de la generación de NADPH en la fotosíntesis: "ferredoxina-NADP ..."
 10. Proteína que es reducida por el fotosistema I.
 11. Proceso de síntesis de ATP en el cloroplasto.
 12. Apilamiento de tilacoides (plural)
 13. Complejo multiproteico que integra numerosas moléculas de pigmentos fotosintéticos.
 15. Pigmento fotosintético secundario, de naturaleza terpenoide, cuya estructura contiene dos anillos conectados por una cadena larga. Acrónimo del complejo captador de luz (en el fotosistema II)
 16. Número de membranas presentes en el cloroplasto (en letra)
- A. Valiente, arrojado.
 B. Fórmula desarrollada del anhídrido carbónico.
 G. Ocho.
 I. Número de moléculas de triosa resultantes de la acción de la Rubisco sobre una molécula de ribulosa-bisfosfato.

¡Más madera! Suministro de ribulosa-bisfosfato para la enzima rubisco

El habitualmente denominado ciclo de Calvin suma un número elevado de reacciones que, además, deben replicarse o multiplicarse por 3 o por 5. Todo ello hace que el análisis con detalle pueda abrumar al estudiante haciendo que se pierda la perspectiva de la lógica de esta ruta metabólica.

Comparto aquí una particular aproximación que pienso puede facilitar la comprensión de la estrategia metabólica que permite conseguir la fijación de carbono procedente del CO₂ por parte de la ribulosa-bisfosfato carboxilasa (rubisco o RuBisCO, ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa, E.C. 4.1.1.39)

1	La enzima rubisco combina el CO ₂ con ribulosa-bisfosfato formando 2 moléculas de 3-fosfoglicerato.	$\text{Ru1,5P}_2 \xrightarrow[\text{CO}_2]{\text{rubisco}} 3\text{PG} \times 2$
2	¿Cómo se consigue esa ribulosa-bisfosfato? Gracias a la quinasa que fosforila la ribulosa-5P.	$\text{Ru5P} \xrightarrow[\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i]{\text{quinasa}} \text{Ru1,5P}_2 \xrightarrow[\text{CO}_2]{\text{rubisco}} 3\text{PG} \times 2$
3	La ribulosa-5P, a su vez, puede obtenerse mediante las reacciones de interconversión de azúcares (similares a la fase no oxidativa de la ruta de las pentosas-fosfato).	
4	... pero son necesarias 3 moléculas de ribulosa-5P...	
5	...que se formarán a partir de una de fructosa-6P y tres de gliceraldehído-3P.	
6	¿De dónde puede obtenerse la fructosa? De reacciones de gluconeogénesis, a partir de más gliceraldehído.	

7	<p>Y el gliceraldehído-3P se obtiene, gracias a más reacciones de la gluconeogénesis, desde el 3-fosfoglicerato...</p>	
8	<p>...que es justamente el producto de la rubisco.</p>	
9	<p>En conclusión, con 3 moléculas de CO₂ la rubisco produce 6 moléculas de 3-fosfoglicerato, de las cuales 5 se utilizan para recuperar las 3 de ribulosa gastadas y una es el producto neto. Y así tenemos... ¡el ciclo de Calvin!</p>	
10	<p>El balance global es un gasto de 8 ATP y 5 NADPH.</p>	
11	<p>Pero si planteamos como producto final, en lugar del 3-fosfoglicerato, una molécula de gliceraldehído-3P el balance será de 9 ATP y 6 NADPH gastados.</p>	
12	<p>Y si planteamos como producto final la glucosa (a partir de 2 gliceraldehídos), será un gasto de 18 ATP y 12 NADPH.</p>	

Este material está disponible, con formato de esquema animado por etapas, en <http://biomodel.uah.es/metab/rubisco/suministro-rubisco.htm>

Licencia Creative Commons Reconocimiento – No Comercial – Compartir Igual

Para la adopción de abreviaturas —destinadas particularmente a compactar los esquemas— se ha procurado seguir las normas de IUPAC y la Unión Internacional de Bioquímica (IUB, IUBMB), también las abreviaturas definidas en KEGG GLYCAN. En algunos casos estas organizaciones sólo aprueban las abreviaturas para los residuos componentes de oligosacáridos, péptidos o lípidos, pero aquí se han utilizado igualmente para las moléculas individuales, como mejor opción ante la escasa normalización existente en otras fuentes.

Puede consultarse listado y equivalencia de estas abreviaturas en <http://biomodel.uah.es/metab/abreviaturas.htm>