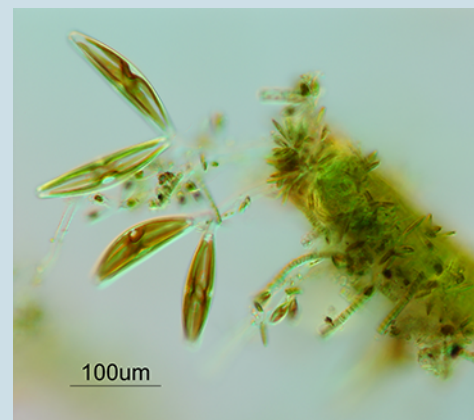


Acerca de la biología de la rareza



Acerca de la biología de la rareza

About the biology of rarity

Rosaluz Tavera*

Algas Continentales. Ecología y Taxonomía. Departamento de Ecología y Recursos Naturales.
Facultad de Ciencias, UNAM

*correspondencia: r_tavera@ciencias.unam.mx

Uno de los seminarios de nuestro laboratorio versó sobre el tema, “La biología de la rareza” (Kunin & Gaston 1997). El planteamiento central se desarrolló en un fresco intercambio de opiniones sobre la pregunta ¿qué es la rareza en biología? Hubo una riqueza de intervenciones, pero no es un tema fácil de agotar y me gustaría presentar aquí un asunto de los varios que se quedaron sin abordar.

La rareza en biología ¿existe realmente? ¿es aparente?, o es limitada por el porqué, por el cuándo y por el cuánto conocemos? Dentro de los asuntos sin abordar, qué tal si tratamos de explicar, a propósito del origen de las algas, el origen de la Ribulosa Bifosfato Carboxilasa-Oxigenasa (RuBisCO), una enzima con dos sitios activos. Es la proteína-enzima más abundante en la biosfera, un elemento básico de la fotosíntesis que cataliza la fijación del dióxido de carbono a una forma orgánica, pero también cataliza la fijación de O₂ en un proceso llamado fotorrespiración, que libera CO₂ y disipa energía; este es un funcionamiento ineficiente porque la enzima sólo secuestra una molécula de oxígeno por cada 3 a 4 moléculas de dióxido de carbono. Cuando pensamos en el origen de esta molécula, hace más de 2,700 MA, y en su acoplamiento con el metabolismo de células auténticamente primitivas, entonces, surge la idea de lo raro:

¿Acaso no es raro que la RuBisCO, capaz de metabolizar oxígeno, haya surgido contemporánea con poblaciones de procariontes que, en principio, eran capaces de vivir en ambientes carentes de oxígeno? ¿sería posible pensar en una “endosimbiosis” a nivel molecular?

No es fácil condensar, en unas cuantas líneas, la explicación tan complicada que subyace al origen

de la RuBisCO, pero ocurrirá igual si intentamos explicar el origen tanto de los componentes químicos, como de las formas biológicas. Hay demasiadas transformaciones estructurales y metabólicas, representadas en los distintos niveles de complejidad de los organismos de origen más antiguo, anoxigénicos y oxigénicos.

Estructuralmente, en las bacterias purpúreas los fotosistemas están presentes en la membrana plasmática, mientras que en las bacterias verdes estos se encuentran asociados a clorosomas, considerados como orgánulos especiales (Frigaard & Bryant 2006). En las cianoprocariontes más antiguas (*Synechococcus*, *Gloeomargarita*) se presentan estructuras membranosas internas más complejas, los tilacoides.

En el aspecto metabólico, la presencia de pigmentos como la clorofila en ese escenario primitivo no es tan simple de imaginar porque su biosíntesis requiere al menos 17 pasos (Beale 1999). La biosíntesis de RuBisCO no es menos sofisticada en tanto que se utilizan diferentes compartimentos celulares en la transcripción y la traducción de genes de la enzima (Gutteridge & Gatenby 1995). Aun así, la RuBisCO puede haber surgido antes que la clorofila, basta con considerar la diversidad de genomas procariontes y eucariontes en los que están presentes varios operones relacionados con su síntesis (Heinhorts *et al.* 2014; Wheatley *et al.* 2014).

Podemos pensar que algunas reacciones químicas se hubieran producido espontáneamente en el medio ambiente, aisladas de una “maquinaria celular”. Por ejemplo, hay enzimas en la síntesis de clorofila-*a* que pueden ser activas de esta forma, como la hidroximetilbilano sintasa, que

produce porfirina y asimismo hay reacciones químicas espontáneas que alteran la reactividad entre productos de otras reacciones, facilitando las uniones químicas. El propio hidroximetilbilano, aislado del cloroplasto de la célula, se cicla espontáneamente y forma el uroporfirinógeno I, propio de la biosíntesis del heme, y no el III, propio de la biosíntesis de clorofila. Recordemos que los pasos iniciales de la síntesis de la clorofila son compartidos por otras vías biosintéticas que conllevan la formación de anillos pirrólicos, principalmente la biosíntesis heme. Después de la formación de la porfirina, la liberación de protones forma una porfirina aniónica que aparentemente se requiere en la unión con el magnesio, uno de los pasos críticos en la síntesis de clorofila porque químicamente es muy difícil insertar Mg_2^+ en el núcleo de la porfirina (Beale 1999). En el medio celular estos procesos no son erráticos, están regulados con precisión por decenas de enzimas con una codificación genética precisa también. A veces la codificación falla, como en la biosíntesis del heme, en el trastorno hereditario que ocasiona la porfiria en el ser humano.

¿Cómo pudieron evolucionar y acoplarse las vías biosintéticas oxigénicas, que ni siquiera estaban bajo una presión selectiva? Empecemos con lo más aceptable, las primeras formas fotosintéticas fueron anoxigénicas (bacterias) y los metabolismos, que utilizan la luz como activador de alguna vía biosintética productora de energía, pueden haber compartido información por transferencia lateral y reemplazo genético. Es ilustrativo que muchos procariontes anoxigénicos comparten enzimas y funcionamiento del aparato fotosintético con organismos fotosintéticos aerobios. Experimentalmente se han inducido alteraciones en bacterias purpúreas y las células acumularon uno de los tipos de protoporfirina, causando incapacidad para sintetizar los precursores de bacterioclorofilas, que contienen magnesio (Bollivar *et al.* 1994). También destaca el caso de *Acaryochloris marina*, la especie más estudiada de este género cuyo contenido de clorofila-*d* como pigmento fotosintético principal es particular (¿acaso raro?), y a pesar de esta diferencia, comparte varias similitudes con la biosíntesis de la clorofila-*a*, y la presencia de carotenoides y biliproteínas, aunque no forman ficobilisomas (Swingley *et al.* 2008). Quizá fue un reemplazo genético o quizá una versión diferente de aparato fotosintético que tampoco encontró barreras para la oxidación del agua. De cualquier modo, refuerza la categoría de "rareza".

Es significativo que todos estos organismos fotosintéticos oxigénicos y anoxigénicos comparten también la presencia de carotenoides, que funcionan como pigmentos accesorios y están relacionados con foto-protección, pero no comparten pigmentos (Blankenship 2010). Los centros de reacción de la fotosíntesis son un asunto distinto, todos los fotosintéticos aerobios tienen ambos, así que comparten alguno de ellos, el tipo I o el tipo II, con las bacterias púrpura que sólo tienen el tipo II, o con las bacterias verdes que sólo tienen el tipo I (Blankenship 2010). Es alta la probabilidad de que la transferencia horizontal haya modulado muchas de las semejanzas que comparten los aparatos fotosintéticos y que el reemplazo genético haya dirigido en gran parte las diferencias, pero aunque tenemos caracterizadas las relaciones y las posibles modificaciones, y aunque somos capaces de asociar la eficiencia del metabolismo oxigénico con argumentos que explican su selección desde el punto de vista evolutivo, no podemos explicar el giro evolutivo que produjo el metabolismo aerobio en una atmósfera reductora. Sólo podemos calificarlo como algo que desde el punto de vista biológico, puede ser tratado como una rareza. ¡Una rareza que condujo al cambio de la atmósfera terrestre y permitió la vida aerobia!

REFERENCIAS

- Beale, S.I. 1999. Enzymes of chlorophyll biosynthesis. *Photosynthesis Research* 60: 43-73.
- Blankenship, R.E. 2010. Early Evolution of Photosynthesis. *Plant Physiology* 154: 434-438.
- Bollivar, D.W., Z.-Y. Jiang, C.E. Bauer, & S.I. Beale. 1994. Heterologous expression of the bchM gene product from *Rhodobacter capsulatus* and demonstration that it encodes s-adenosyl-L-methionine: Mg-protoporphyrin IX methyltransferase. *Journal of Bacteriology* 176: 5290-5296.
- Frigaard, N.-U. & D.A. Bryant 2006. Chlorosomes: Antenna organelles in photosynthetic green bacteria. In: J.M. Shively. Ed. *Complex Intracellular Structures in Prokaryotes*. Microbiology Monographs 2, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. pp: 80-114.
- Gutteridge, S. & A.A. Gatenby. 1995. RuBisCO synthesis, assembly, mechanism, and regulation. *The Plant Cell* 7: 809-819.
- Heinhorst, S., G.C. Cannon & J.M. Shively. 2014. Carboxysomes and their structural organization in Prokaryotes. In: L. L. Barton, D.A. Bazylinski & H. Xu. Eds. *Nanomicrobiology. Physiological and environmental characteristics*, Springer, New York. pp: 75-101.
- Kunin, W.E. & K. Gaston. Eds. 1997. *The Biology of rarity*.

Causes and consequences of rare-common differences. Population and community biology Series. Chapman & Hall, London.

Swingley, W.D., M. Chen, P.C. Cheung, A.L. Conrad, L.C. Dejesa, J. Hao, B.M. Honchak, L.E. Karbach, A. Kurdoglu, S. Lahiri, S.D. Mastrian, H. Miyashita, L. Page, P. Ramakrishna, S. Satoh, W.M. Sattley, Y. Shimada, H.L. Taylor, T. Tomo, T. Tsuchiya, Z.T. Wang, J. Raymond, M. Mimuro, R.E. Blankenship, J.W. Touchman. 2008. Niche adaptation and genome expansion in the chlorophyll d-producing cyanobacterium *Acaryochloris marina*. *Proceedings of National Academy of Sciences* 105: 1-6.

Wheatley, M.N., Ch.D. Sundberg, S.D. Gidaniyan, D.

Cascio & T.O. Yeates. 2014. Structure and identification of a pterin dehydratase-like protein as a RuBisCO assembly factor in the alpha-carboxysome. *Journal of Biological Chemistry* 289: 7973-7981.

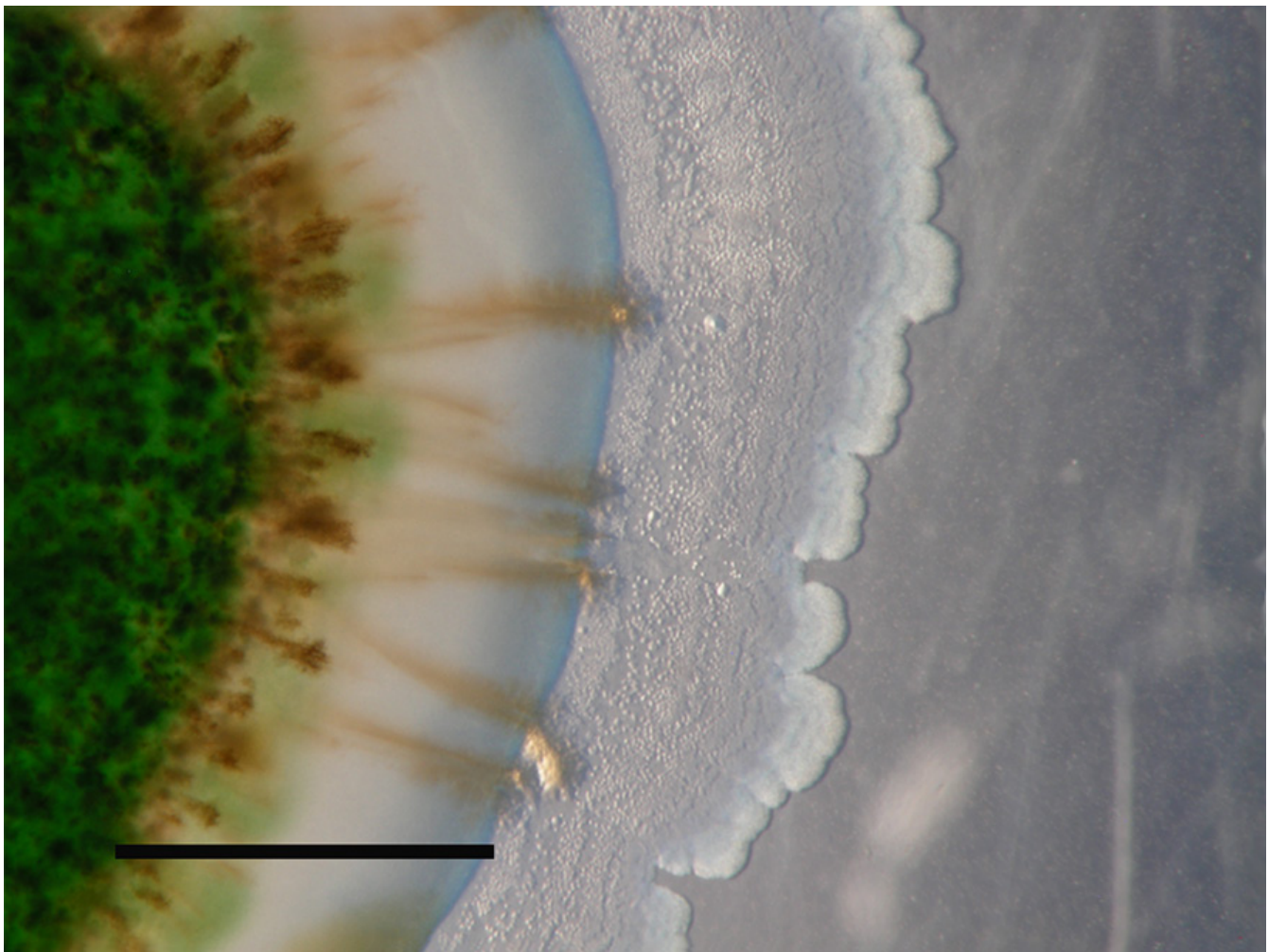
Recibido: 27 de abril de 2015.

Revisado: 6 de mayo de 2015.

Corregido: 7 de mayo de 2015.

Aceptado: 7 de mayo de 2015.

Editor responsable: Eberto Novelo.



Colonia de *Candidatus Gloeomargarita lithophora*; cultivo de 14 semanas. En el margen mucilaginoso de la colonia (verde turquesa), se aprecian los crecimientos rojizos de *Porphyrobacter sanguineus* (α -Proteobacteria). Barra = 1 mm. Foto de E. Novelo

CRÉDITOS A LAS FOTOS DE LA PORTADA

Cymbella mexicana (Ehrenberg) Cleve. Cantera Oriente, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, CU, UNAM. México, D.F. Fotos de E. Novelo