

# SEBBM DIVULGACIÓN

## ACÉRCATE A NUESTROS CIENTÍFICOS

### La evolución biológica a nivel molecular

**Miguel Ángel de la Rosa. Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis, Centro de Investigaciones Científicas Isla de la Cartuja, Universidad de Sevilla y CSIC**



#### **Biografía**    *Resumen*

*Miguel Ángel de la Rosa (Pilas, Sevilla, 1955) es Catedrático de la Universidad de Sevilla (Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis), Director del Centro de Investigaciones Científicas Isla de la Cartuja (centro asociado del CSIC, la Junta de Andalucía y la Universidad de Sevilla), y actual Presidente de la Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular (SEBBM). Se licenció (1977) y doctoró (1981) en la Universidad de Sevilla, y desde 1985 compagina su labor docente e investigadora con su participación en comités y representaciones internacionales. Es Presidente del Comité de Nominaciones de la Unión Internacional de Bioquímica y Biología Molecular (IUBMB), miembro de la Comisión Nacional integrante del International Council for Science (ICSU), y delegado español en la IUBMB y en la Federación Europea de Sociedades de Bioquímica (FEBS). Ha sido Presidente de la Bioelectrochemical Society (2003-2007). En la actualidad, su trabajo de investigación comprende las siguientes líneas: proteómica funcional y estructural, metaloproteínas, reconocimiento molecular, fotosíntesis y bioenergética. Es autor o co-autor de cuatro libros, dos patentes y más de 140 publicaciones, y ha impartido más de un centenar de conferencias. En 2012 organizará en Sevilla el 22nd IUBMB & 37th FEBS Congress.*

**La lucha por los alimentos, conocido principio de selección natural clave en la evolución de las especies, se aplica igualmente a nivel celular y molecular. Así, la evolución de las proteínas de hierro y cobre ha estado dirigida por la biodisponibilidad relativa de uno y otro elemento, a su vez dependiente de las condiciones físico-químicas cambiantes del planeta desde su formación hasta el momento actual.**

#### **Summary**

**The fight for food – the well-known principle of natural selection that plays a key role in the evolution of species — can also be applied at the cellular and molecular level. Actually, the evolution of iron- and copper-containing proteins has been driven by the relative bioavailability of these two elements, which in turn depends on the changing physico-chemical conditions of the planet from the beginning to nowadays.**

<http://www.sebbm.es/>

HEMEROTECA:

[http://www.sebbm.es/ES/divulgacion-ciencia-para-todos\\_10/acercate-a-nuestros-cientificos\\_107](http://www.sebbm.es/ES/divulgacion-ciencia-para-todos_10/acercate-a-nuestros-cientificos_107)

Uno de los pilares básicos de la evolución biológica, en el sentido clásico de Darwin y Wallace, es la selección natural, mecanismo por el cual las condiciones del medio ambiente favorecen o dificultan la supervivencia y reproducción de los miembros mejor adaptados de una población determinada. Así, la lucha por el alimento en una comunidad de animales, por ejemplo, determina que los individuos más fuertes y agresivos consigan dominar a sus rivales, ya sean de la misma u otra especie, y acaben imponiéndose sobre aquellos otros individuos más débiles o menos capacitados.

Al igual que los animales, las células necesitan nutrirse y conseguir del entorno los elementos químicos necesarios para fabricar sus propias moléculas constituyentes. Las proteínas, por ejemplo, que son las biomoléculas más abundantes, se construyen con los seis elementos biogénicos primordiales (carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, fósforo y azufre). Estos elementos no suelen escasear, pero sí pueden ser limitantes ciertos elementos metálicos que muchas proteínas necesitan incorporar, en forma de cofactores, para realizar su función. Se estima que hasta un tercio de las proteínas de un ser vivo son metaloproteínas y, entre ellas, las más importantes son las proteínas de hierro.

El hierro, en efecto, puede llegar a ser limitante para los seres vivos, a pesar de ser uno de los elementos más abundantes del planeta. Ello se debe a que la mayor parte del hierro se encuentra oxidado, en estado férrico, que precipita y se hace insoluble, a diferencia del hierro reducido, o ferroso, que es soluble. Esto explica que las bacterias, por ejemplo, fabriquen y secreten al medio agentes quelantes, denominados sideróforos, cuya función es atrapar el metal cuando se encuentra poco disponible. Cuando hay una infección, las bacterias que produzcan los sideróforos más efectivos serán las que

dominen y controlen todo el proceso (1, 2). Así pues, el principio de lucha por el “alimento” también se puede aplicar en el mundo vivo a nivel celular y molecular.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que la biodisponibilidad del hierro no siempre ha sido limitante. En un principio, la atmósfera era de carácter reductor, pues carecía de oxígeno, y el hierro se encontraba reducido y soluble. Así pues, los primeros seres vivos usaron el hierro como componente mayoritario de los sitios catalíticos de muchas de sus proteínas esenciales, y aparecieron los grupos hemínicos, los centros sulfoférricos. Con la aparición posterior de organismos capaces de realizar fotosíntesis oxigénica, el oxígeno molecular liberado se fue acumulando en la atmósfera, con la consiguiente oxidación de elementos químicos de la corteza terrestre. La oxidación y precipitación masivas del hierro hizo que éste empezara a escasear y que los seres vivos tuvieran que luchar por capturarlo del entorno.

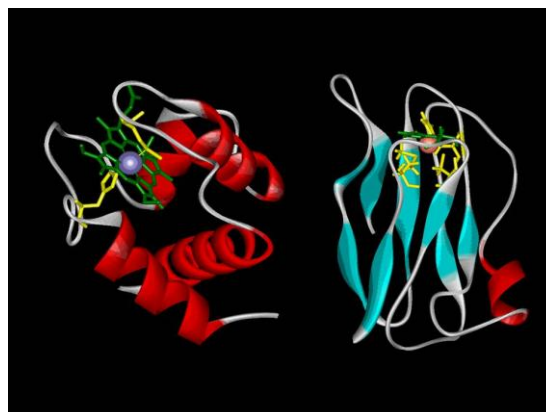
La disminución de hierro llegó a forzar la situación hasta tal punto que algunas de dichas proteínas fueron reemplazadas por otras, tales como las proteínas de cobre. De hecho, la biodisponibilidad del cobre cambió en sentido inverso a la del hierro, ya que la solubilidad del cobre depende del estado redox en sentido contrario a la del hierro, es decir, su forma oxidada, o cúprica, es soluble y su forma reducida, o cuprosa, precipita. En otras palabras, el cobre, que al principio no estaba disponible, empezó a solubilizarse a medida que la atmósfera se tornó oxidante, y las células aprendieron a fabricar nuevas proteínas de cobre que reemplazaran a las antiguas proteínas de hierro.

Buen ejemplo de ello es la sustitución gradual, forzada por las disponibilidades relativas de hierro y cobre, del citocromo c6 por la plastocianina en la cadena de transporte fotosintética. Las dos proteínas poseen estructuras totalmente diferentes –el citocromo es una proteína hemínica, con cuatro hélices alfa, en tanto que la plastocianina es una proteína de cobre, en forma de barril beta (ver figura)– pero juegan el mismo papel fisiológico: la transferencia de electrones, en el interior del tilacoide, entre dos complejos de membrana, el citocromo b6f y el fotosistema I (3-5).

Hace unos 3.500 millones años, las cianobacterias, que fueron los primeros organismos fotosintéticos en liberar oxígeno molecular, utilizaban citocromo c6 como transportador de electrones, ya que el hierro estaba fácilmente accesible. A medida que la atmósfera se fue haciendo oxidante, la limitación creciente del hierro y la solubilización paulatina del cobre hicieron que el citocromo c6 fuera reemplazado por la plastocianina. De hecho, algunas cianobacterias y algas verdes unicelulares aún conservan la capacidad de producir una u otra proteína según las disponibilidades relativas de los dos metales. Al final de la evolución, las plantas superiores sólo producen plastocianina (4).

La sustitución funcional de una proteína por otra es posible, a pesar de su diferencia estructural, porque ambas poseen el mismo potencial redox y punto isoeléctrico, así como áreas superficiales electrostáticas e hidrófobas equivalentes que les permiten reconocer e interactuar con los mismos complejos de membrana (5, 6). Se trata, por tanto, de un caso paradigmático de evolución convergente, a nivel molecular, gobernado por las condiciones geoquímicas cambiantes, es decir, por las

biodisponibilidades relativas de ciertos elementos metálicos (3, 5).



**Figura- Estructura del citocromo c6 (izquierda) y de la plastocianina (derecha). El uno posee un hierro hemínico con histidina y metionina como ligandos axiales, y la segunda un átomo de cobre coordinado por dos histidinas, una metionina y una cisteína.**

#### Referencias

1. R.J.P. Williams. Life, the environment and our ecosystem. *Journal of Inorganic Biochemistry* (2007) 101, 1550-1561.
2. R.R. Crichton. *Biological Inorganic Chemistry: An Introduction*. Elsevier, Amsterdam, 2008.
3. M. Hervás, J.A. Navarro & M.A. De la Rosa. Electron transfer between membrane complexes and soluble proteins in photosynthesis. *Accounts of Chemical Research* (2003) 36, 798-805.
4. F.P. Molina-Heredia, J. Wastl, J.A. Navarro, D.S. Bendall, M. Hervás, C. Howe & M.A. De la Rosa. Photosynthesis: A new function for an old cytochrome? *Nature* (2003) 424, 33-34.
5. A. Díaz-Quintana, M. Hervás, J.A. Navarro & M.A. De la Rosa. Plastocyanin and cytochrome c6: The soluble electron carriers between the cytochrome b6f complex and photosystem I. En: *Structure of Photosynthetic Proteins* (P. Fromme, ed.), pp. 181-200, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2008.
6. I. Díaz-Moreno, A. Díaz-Quintana, M.A. De la Rosa & M. Ubbink. Structure of the complex between plastocyanin and cytochrome f from the cyanobacterium *Nostoc* sp. PCC 7119 as determined by paramagnetic NMR. *The Journal of Biological Chemistry* (2005) 280, 18908-18915.