

Hemoglobinas en bacterias. Más allá del transporte del oxígeno en la sangre

Reinier Gesto Borroto
Raúl Arredondo Peter*

Laboratorio de Biofísica y Biología Molecular, Depto. de Bioquímica y Biología Molecular, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

*Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

E-mail ra@uaem.mx

Cuando se hace referencia a "la hemoglobina" (que en lo sucesivo abreviaremos como "Hb") enseguida la asociamos con la sangre, ya que esta proteína es la que le confiere su característico color rojo [ver la referencia 1]. Sin embargo, ¿sabía Usted que la Hb no solo está presente en la sangre de los animales vertebrados? Resulta poco conocido que esta proteína se distribuye ampliamente en los seres vivos, ya que la podemos encontrar además en animales invertidos (como son los insectos), plantas, hongos, protozoos (como por ejemplo las amibas) y bacterias. Sí, las bacterias también contienen Hbs (es más correcto referirse en plural ya que existen diferentes tipos de estas proteínas), por lo cual, al ser las bacterias organismos antiguos (que corresponden a las primeras formas de vida en la Tierra), se infiere que estas proteínas surgieron muchos millones de años antes que los animales durante la evolución de la vida en nuestro planeta. Por lo tanto, las Hbs son proteínas muy primitivas que tienen una antigüedad aproximada de 3,500 millones de años.

La primer Hb bacteriana se describió en el año 1986 por parte de los investigadores japoneses S. Wakabayashi y H. Matsubara y el investigador estadounidense D. A. Webster. Esta Hb se aisló a partir de la bacteria *Vitreoscilla*. Las Hbs de las bacterias son un ejemplo de la diversidad funcional que posee este tipo de proteínas. Aunque la función más conocida de las Hbs es transportar y almacenar el oxígeno molecular (cuya fórmula química es O₂), estas proteínas también son capaces de unir a otras moléculas gaseosas, como es el óxido nítrico (cuya fórmula química es NO). Asimismo, las Hbs muestran actividad enzimática ya que detoxifican (o eliminan) el NO. El NO es una molécula de gran importancia para los organismos ya que regula diversas funciones, entre las que se incluyen la respuesta inmune (que previene el ataque de organismos patógenos), la producción celular de energía y la fotosíntesis de las plantas [ver la referencia 2].

Como se había mencionado anteriormente, en la naturaleza

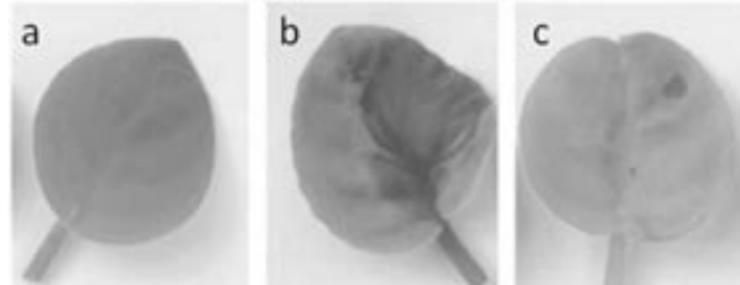


Figura 1. Hemoglobinas de bacterias. La cadena polipeptídica (que está formada por los aminoácidos) de la proteína se representa en la forma de listones. (a) Estructura de una hemoglobina truncada. (b) Estructura de una flavohemoglobina; en esta proteína el dominio globina está representado por los listones de color verde, y el dominio que une y que transfiere electrones está representado por los listones de color morado. En ambas Hbs la estructura de color rojo corresponde al grupo químico en donde se unen el O₂ y el NO, y las estructuras de color amarillo en la fHb corresponden a los grupos químicos que transfieren electrones.

existen diferentes tipos de Hbs, que se clasifican de acuerdo con su estructura. En las bacterias podemos encontrar cuatro tipos de Hbs: (1) las Hbs que están formadas por un solo dominio (que abreviaremos como SDgbs, por sus siglas en Inglés), (2) las Hbs truncadas (que abreviaremos como Hbts) (figura 1a), (3) las flavohemoglobinas (que abreviaremos como fHbs) (figura 1b), y (4) los sensores acoplados a globinas (que abreviaremos como GCS, por sus siglas en Inglés). Las SDgbs presentan la estructura típica de las Hbs, que corresponde al dominio "globina" (ver el glosario y la referencia 1). El resto de las Hbs bacterianas, es decir, las Hbts, fHbs y GCS, se diferencian estructuralmente a partir del dominio globina. Las Hbts deben su nombre a que su longitud es de 20 a 40 aminoácidos menor que la longitud de las SDgbs (cuya longitud oscila alrededor de 130 aminoácidos). Las fHbs y los GCS contienen dominios adicionales que les confieren otras funciones. En el caso de las fHbs, el dominio adicional les permite unir y transferir electrones. Por su parte, los GCS contienen un dominio que informa al interior de la célula cual es la concentración de O₂ en el medio extracelular.

Las SDgbs en bacterias están representadas por la Hb de *Vitreoscilla* (que abreviaremos como VtHb). Esta Hb se sintetiza en grandes cantidades cuando *Vitreoscilla*, que es una bacteria aerobia (es decir, que requiere O₂), crece en condiciones de baja concentración de O₂. La función de VtHb es almacenar el O₂ y facilitar su difusión hacia las proteínas de la membrana plasmática, las cuales son las encargadas de obtener la energía que es necesaria para que la célula realice sus funciones. Las Hbts y las fHbs tienen funciones en común: estas Hbs actúan como sensores de la concentración de O₂ y son capaces de almacenar este gas, ade-

En la agricultura las Hbs de bacterias también pueden resultar beneficiosas a través de la obtención de plantas transgénicas. Un organismo transgénico es aquel al que se le ha introducido en su genoma un segmento de ADN foráneo (que proviene de otro organismo), confiriéndole una o varias características que antes no poseía (ver la referencia 3). Hoy en día se han obtenido plantas transgénicas de tabaco que sintetizan a la VtHb. Estas plantas presentan niveles mayores de germinación y crecimiento, un incremento del 30 al 40% de los niveles de clorofila y un 34% mayor del nivel de nicotina. Vale la pena destacar que esto no representa un medio para producir cigarrillos con mayor contenido de nicotina.

Las Hbs también tienen que ver con la asimilación del nitrógeno molecular (cuya fórmula química es N₂). El nitrógeno es importante para las plantas, ya que forma parte de la estructura de las proteínas y los ácidos nucleicos (es decir, el ADN y el ARN). En la agricultura contemporánea la fuente principal de nitrógeno para los cultivos se obtiene a través del empleo de fertilizantes, pero su producción es costosa y constituyen una fuente de contaminación del agua de los mantos freáticos. Las leguminosas (como el frijol, garbanzo, lenteja y soya) son un grupo de plantas que asimilan (o fijan) el N₂ de manera natural directamente del aire mediante el proceso de fijación simbiótica del N₂ (que se abrevia como FSN), por lo que tradicionalmente se incluyen en la rotación de cultivos para mejorar la fertilidad del suelo. Esta habilidad es el resultado de la relación simbiótica que se establece entre las leguminosas y bacterias del suelo que se llaman rhizobias. Estas bacterias infectan a las raíces de las leguminosas e inducen la formación de un órgano denominado nódulo, que es en donde ocurre la FSN (ver la referencia 4). Como resultado de este proceso las plantas obtienen el 90% del nitrógeno que necesitan, e incluso queda en el suelo nitrógeno

disponible para ser usado en las próximas cosechas. El empleo de bacterias simbióticas en las prácticas agrícolas reduce el uso de fertilizantes químicos, lo que constituye una alternativa ecológicamente limpia (ver la referencia 5). De igual forma los nódulos envejecen y pierden la capacidad para fijar el N₂, por lo que sería de gran utilidad prolongar la vida de los nódulos con el objetivo de mejorar la FSN. En este sentido se han realizado estudios en el laboratorio que sugieren que la inoculación de la leguminosa *Medicago truncatula* con rhizobia que sintetizan grandes cantidades de la fHb, incrementa el tiempo de vida de los nódulos y la biomasa de las plantas. Estos resultados se podrían extender a otras bacterias simbióticas de plantas leguminosas de interés agrícola ya que las Hbs se distribuyen ampliamente en los rhizobias.

Luego de concluida esta lectura el Lector estará enterado de la presencia de Hbs en bacterias, su diversidad de funciones y su importancia, incluso con un alto impacto en la salud humana y la agricultura. Esperamos que a partir de este momento cuando los Lectores piensen en las Hbs lo hagan *más allá del transporte de oxígeno en la sangre*.

Referencias.

- [1] R. Arredondo Peter, "¿Qué hay detrás del color de la sangre?", La Unión de Morelos, 17 de marzo de 2008.
- [2] V. Lira Rúan y R. Arredondo Peter, Óxido nítrico: un héroe disfrazado de villano, Elementos vol. 53, 2004, pp. 11-17.
- [3] F.G. Bolívar Zapata, "Las bases de la ingeniería genética", La Unión de Morelos, 20 de agosto de 2012.
- [4] R. Arredondo Peter, "Hemoglobinas vegetales: proteínas rojas en organismos verdes", La Unión de Morelos, 7 de enero de 2008.
- [5] J. Caballero-Mellado, "Microbios que nutren a las plantas (biofertilizantes)", La Unión de Morelos, 13 de septiembre de 2010.

Glosario

Dominio: Región compacta de una proteína que incluye entre 40 y 400 aminoácidos y que constituye una unidad estructural particular en el ámbito de una cadena de aminoácidos mayor. En algunos casos los dominios tienen funciones específicas y separadas.

Proteína: Polímero de aminoácidos. Las proteínas son las biomoléculas más abundantes en las células y son muy versátiles en cuanto a las funciones que realizan, ya que existen enzimas, proteínas estructurales, de defensa, y contráctiles, entre otras.



Figura 2. Hojas de violeta africana. (a) Hoja sana. (b) Hoja infectada con *Erwinia chrysanthemi* (que produce una fHb), en la que se observan signos de necrosis (muerte) en el tejido. (c) Hoja inoculada con *Erwinia chrysanthemi* que carece de la fHb, en donde los signos de necrosis son escasos.