

## Hemoglobinas Vegetales: Proteínas Rojas en Organismos Verdes

Raúl Arredondo Peter  
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos  
Facultad de Ciencias, UAEM

El autor de este artículo es responsable del Laboratorio de Biofísica y Biología Molecular de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Su E-mail es [ra@buzon.uaem.mx](mailto:ra@buzon.uaem.mx).

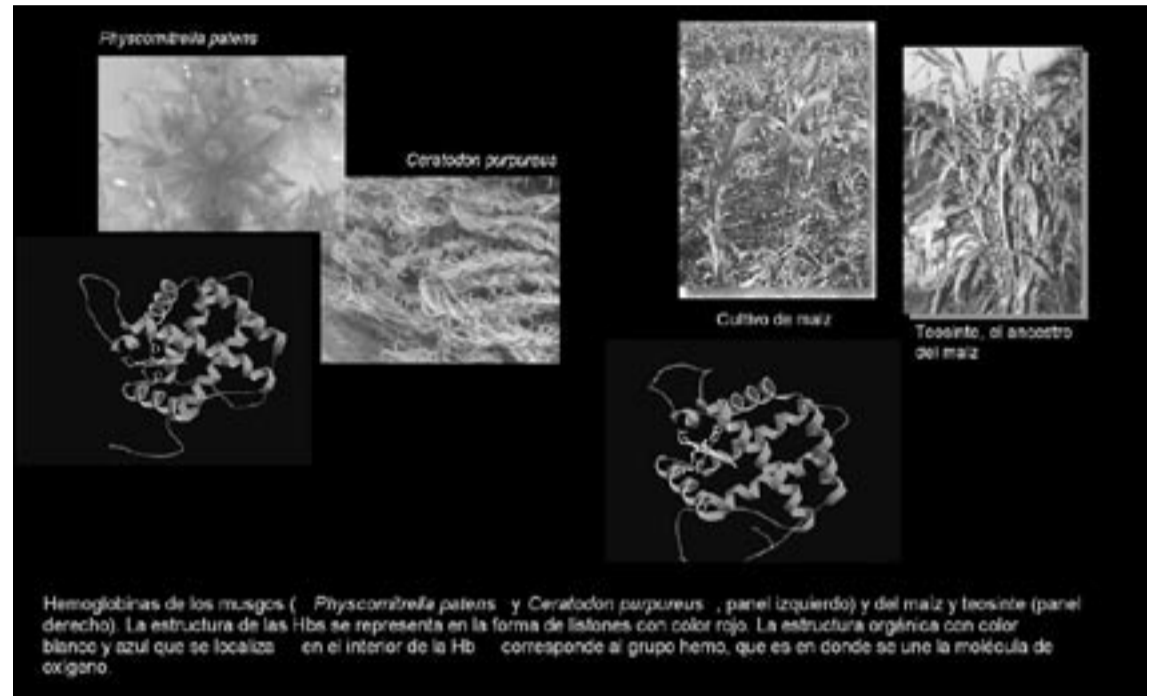
La hemoglobina, que en lo sucesivo se abreviará como Hb, es una proteína conocida por todos ya que confiere el color rojo a la sangre. Esta proteína se localiza en el interior de los glóbulos rojos que circulan en la sangre, y su función es unir el oxígeno en los pulmones para transportarlo hasta los tejidos. Ahí, la Hb entrega el oxígeno a otra proteína, la mioglobina (que en lo sucesivo se abreviará como Mb), la cual, a su vez, lo transporta hasta las mitocondrias para que la célula obtenga la energía que es necesaria para su funcionamiento. Esta energía permite que en los organismos aerobios (es decir, en aquellos que consumimos oxígeno) se lleven a cabo procesos metabólicos y fisiológicos, como es el movimiento muscular, la transmisión de los estímulos nerviosos y la interpretación de dichos estímulos en el cerebro -lo cual sucede en el momento en el que el lector enfoca las imágenes de este artículo e interpreta su contenido.

El funcionamiento de los organismos aerobios consume grandes cantidades de energía, lo que requiere del aporte de grandes cantidades de oxígeno. Esto se lleva a cabo gracias a la existencia de concentraciones altas de Hb en la sangre y Mb en los músculos (al igual que la Hb, la Mb es de color rojo, lo que confiere el color rojo a los bisteces que se compran en la carnicería). Debido a la importancia fisiológica y abundancia en los tejidos de los mamíferos, la Hb y Mb se han estudiado con mucho detalle. Sin embargo, la mayoría de los estudios acerca de estas proteínas se han llevado a cabo en animales vertebrados (incluyendo a los Seres Humanos). No obstante, en la actualidad se sabe que las Hbs son proteínas que surgieron en las etapas tempranas de la evolución de la vida en nuestro planeta, es decir, hace unos 3,500 millones de años, y desde entonces las Hbs han evolu-

cionado con los organismos que las sintetizan. Por esta razón las Hbs no sólo existen en los animales vertebrados, sino también en las bacterias, hongos, protozoarios, plantas y animales invertebrados.

En este momento tal vez el lector se pregunte con sorpresa: ¿Hbs en las plantas?, pero... ¡sí las plantas son verdes! Efectivamente, las plantas son verdes debido a que sus hojas contienen grandes cantidades de clorofila (cuyo color es verde), sin embargo, las plantas también contienen pigmentos que son distintos a la clorofila, como son los carotenos (que originan a la vitamina A) que confieren el color anaranjado a las zanahorias. Entre estos pigmentos se encuentra la Hb, aunque, con algunas excepciones (a las que nos referiremos a continuación), su concentración en los tejidos de la planta es muy baja. Esto explica porque, a diferencia de la sangre de los vertebrados, las plantas son verdes y no rojas.

Las Hbs se descubrieron en las plantas hace poco más de 60 años por un investigador Japonés de nombre Hideo Kubo. Este investigador analizó el pigmento rojo que se encuentra en el interior de los nódulos de las raíces de la soya, y descubrió que las características de este pigmento son idénticas a las características de la Hb de los vertebrados, por lo que concluyó que este pigmento es una Hb vegetal. Actualmente, a esta Hb vegetal se le conoce como leghemoglobina (que en lo sucesivo se abreviará como Lb) debido a que se localiza exclusivamente en los nódulos de las plantas leguminosas que fijan el nitrógeno. Las leguminosas son bien conocidas por todos ya que incluyen a plantas como la soya, el frijol y el trébol. Una característica importante de este grupo de plantas es que sus raíces son infectadas por bacterias benéficas del suelo, lo que da lugar a la formación de estructuras más o menos esféricas que se conocen como nódulos radicales. Dentro de los nódulos, las bacterias reducen el nitrógeno de la atmósfera para producir amonio, que es la forma asimilable del nitrógeno que se incorpora en los componentes moleculares de la planta. Así, mediante este proceso las bacterias producen un "fertilizante biológico" para la planta, de manera similar al proceso industrial por el que se producen los "fertilizantes



químicos" que se utilizan para fertilizar a los cultivos agrícolas. Los procesos biológico e industrial de fijación de nitrógeno consumen una gran cantidad de energía (lo cual explica el alto costo de los fertilizantes). Biológicamente, las bacterias que fijan el nitrógeno consumen (respiran) grandes cantidades de oxígeno para producir amonio, sin embargo, la cantidad de oxígeno disuelto en el interior de los nódulos es muy baja. Por fortuna para estas bacterias la planta sintetiza grandes cantidades de Lb, la cual une y transporta el oxígeno (de manera similar al transporte del oxígeno por la Hb en la sangre) que es necesario para el metabolismo aerobio de las bacterias y la fijación del nitrógeno. Efectivamente, si el lector desentierra cuidadosamente una planta leguminosa (por ejemplo, un trébol, que es frecuente en los jardines) observará que en la raíz se localizan los nódulos radicales, y que éstos son de color rojo, rosa o pardo (el color es más evidente en el interior del nódulo si éste se corta por la mitad). Este color se debe a la gran cantidad de Lb que existe en los nódulos radicales. Por lo tanto, es correcto decir que "existen plantas con órganos verdes (las hojas) y rojos (los nódulos radicales)". Además de la Lb, en las plantas existe otro tipo de Hb, la cual se relaciona estrechamente con la Lb. A esta Hb se le da el nombre de Hb no simbiótica ya que se localiza en diversos órganos de la planta, es

decir, en órganos no simbióticos (como son las raíces, los tallos y las hojas). A diferencia de la Lb, que solamente se sintetiza en las plantas que fijan el nitrógeno, la Hb no simbiótica se sintetiza en plantas primitivas, como son los musgos, y evolucionadas, como son las angiospermas. Esto sugiere que las Hbs no simbióticas son ubicuas en las plantas terrestres, y que las Lbs evolucionaron a partir de las Hbs no simbióticas.

Desde hace una década, el grupo de trabajo del autor de este artículo y sus colaboradores han estudiado las propiedades de las Hbs no simbióticas. Los resultados han sido sorprendentes, ya que las Hbs no simbióticas se caracterizan por unir el oxígeno con mucha fuerza y no liberarlo. Es decir, estas proteínas no liberan el oxígeno para el metabolismo aerobio de la célula, por lo que la pregunta intrigante durante varios años ha sido: ¿cual es la función de una Hb que no libera el oxígeno? Las investigaciones recientes sugieren que una función de las Hbs no simbióticas es unir al óxido nítrico y modular los niveles de esta molécula en las células y los tejidos. Esta función es importante debido a que el óxido nítrico modula una gran cantidad de procesos celulares, como es la respuesta de los organismos a las condiciones de estrés. En este sentido, se ha encontrado que la concentración de Hbs no simbióticas aumenta cuando las plantas crecen en condiciones de

estrés, por ejemplo, en condiciones de inundación o en ausencia de luz. Por esta razón a las Hbs no simbióticas se les conoce como "proteínas de respuesta al estrés".

El conocimiento básico que se ha acumulado durante el estudio de las Hbs vegetales ha sido de utilidad en aplicaciones biotecnológicas. Por ejemplo, se ha intentado utilizar a las Hbs no simbióticas como sensores de oxígeno en componentes de aparatos electrónicos, como proteínas que confieren resistencia a cultivos transgénicos en inundaciones, como substitutos sanguíneos y como componentes de productos farmacéuticos. De esta manera, la existencia de Hbs en las plantas resulta no sólo sorprendente, sino que permite entender mejor aún a las Hbs y, a partir de estos conocimientos, a otros grupos de proteínas para, posiblemente, utilizar este conocimiento en aplicaciones a nuestra vida cotidiana.

Lecturas y material adicional. El lector interesado encontrará mayor información sobre este tema en la página electrónica del laboratorio del autor de este artículo en la dirección URL <http://web.fc.uaem.mx:8080/proftc/arredondo/arredondo.htm>

**Reconocimientos.** El trabajo de investigación que se realiza en el laboratorio del autor de este artículo está financiado por PRO-MEP-SEP y CONACYT.