

belga Léon Fredericq notó que la sangre de algunos cefalópodos (pulpos, por ejemplo) se volvía azul al pasar por las branquias. Posteriormente se descubrió que este fenómeno se debía a la oxidación del cobre presente en una proteína que se denominó hemocianina (actualmente está en debate el nombre, ya que esta proteína no contiene el grupo “hemo”). Existen varias diferencias entre los organismos de sangre roja y los de sangre azul en lo que se refiere a la función de la sangre.

Los organismos de sangre azul presentan el inconveniente de que su capacidad de transportar oxígeno es tres veces menor que la de los organismos de sangre roja. El oxígeno es esencial para generar energía, y esa energía se utiliza para realizar movimientos corporales u otras actividades como crecer y buscar alimento o pareja. La capacidad reducida de transportar oxígeno en los organismos de sangre azul ha llevado a que los cefalópodos del océano Antártico tengan una forma de vida sedentaria, marcada por poco movimiento y ausencia de cambios corporales durante su ciclo de vida. Actualmente a la comunidad científica le preocupa que estos organismos no puedan responder de manera adecuada al calentamiento global y desaparezcan. La principal razón es que la afinidad de la hemocianina con el oxígeno se reduce al aumentar la temperatura. Al parecer lo que era una adaptación al frío extremo es un inconveniente en la situación global actual, en que los mares se están calentando.

La sangre azul ha despertado gran interés en la comunidad científica por dos razones: la primera es que se desconoce si su aparición fue independiente en los grupos que tienen hemocianina (cefalópodos y artrópodos), ya que los hábitos de cada grupo y la cantidad de esta proteína que poseen no favorecen ningún patrón en particular. El protagonista de la segunda razón es el cangrejo herradura y el potencial uso médico de su sangre (ver *¿Cómo ves?* Núm. 227). Muchos avances científicos y tecnológicos provienen de la observación de los organismos en su ambiente. Los científicos notaron que, a pesar de vivir en el océano, los cangrejos herradura que tenían heridas no presentaban infección. Con el tiempo descubrieron que inyectar bacterias o partes de bacterias en los cangrejos herradura provocaba una respuesta de gelatinización en la sangre, lo que inactivaba los agentes tóxicos. Actualmente los científicos se han propuesto des-



El poliqueto *Sabella spallanzanii* tiene el pigmento respiratorio clorocruorina; con una estructura parecida a la hemoglobina este le da un tono verdoso a su sangre.

Órganos en los que se lleva a cabo la formación de glóbulos rojos en distintas clases de vertebrados

| Clase de organismo | Ejemplo | Órgano hematopoyético |
|--|----------------------------------|--|
| Ciclóstomos (No tienen mandíbula inferior) | Lampreas Mixinos | Submucosa intestinal |
| Elasmobranquios | Mantarrayas Tiburones | Órgano de Leydig Riñón cefálico Bazo |
| Teleósteos (Peces con esqueleto osificado) | Truchas | Riñón Bazo |
| Anfibios | Ranas Salamandras | Hígado Bazo Medula ósea |
| Aves, reptiles y mamíferos | Lagartijas Cuervos Humanos | Bazo Medula ósea roja |

cifrar cómo funciona este sistema de protección y la posibilidad de usarlo en el tratamiento de enfermedades inmunes en los seres humanos.

De la sangre de los cangrejos herradura se extrae lisado de amebocitos (son parte del sistema inmunológico de estos organismos), que son esenciales para detectar endotoxinas en la industria farmacéutica. Las empresas farmacéuticas usan el lisado de amebocitos para fabricar y probar vacunas contra la COVID-19. El número de cangrejos herradura que se requieren para probar y producir



Algunos invertebrados marinos como *Sipunculus nudus* tienen hemeritrina como pigmento respiratorio que, al oxigenarse, le da un tono rosa-violeta a la sangre.

Diferencias entre organismos de sangre roja y azul

| Sangre roja | Sangre azul |
|--|--|
| Peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos | Cefalópodos y artrópodos |
| Sistema circulatorio cerrado (la sangre permanece dentro de venas y arterias, nunca entra en contacto directo con otros tejidos) | Sistema circulatorio abierto (la sangre entra en contacto directo con los tejidos) |
| La hemoglobina se encuentra dentro de los glóbulos rojos | La hemocianina se encuentra en el plasma |
| El hierro es la molécula que capta el oxígeno | El cobre es la molécula que capta el oxígeno |
| Mayor capacidad de captación de oxígeno | Poca capacidad de captación de oxígeno |

las vacunas es inmenso; esto ha puesto en alerta a la comunidad científica, que teme por la población de estos fósiles vivientes.

Sangre verde

Ciertas especies de lagartijas de Nueva Guinea tienen la sangre verde. No se debe a que no tengan hemoglobina sino a una acumulación de biliverdina, el pigmento que da el color verde a la bilis. La biliverdina proviene de la desintegración de la

hemoglobina y se encuentra en tales concentraciones en la sangre de estos reptiles, que el color verde predomina sobre el color de los glóbulos rojos y tiñe la sangre, los huesos, los músculos, la lengua y las mucosas.

En todos los demás vertebrados, este exceso de pigmento biliar en la sangre causa un problema patológico conocido como ictericia, que puede ocasionar graves daños a nivel motor y cerebral. Las lagartijas del género *Prasinohaema* de Nueva Guinea toleran concentraciones de este pigmento que serían altamente tóxicas para las personas (más de 100 veces lo reportado en humanos). Aunque la función del exceso de pigmentos de la bilis en lagartijas es desconocida, se especula que puede protegerlas contra los rayos ultravioleta, servir como tóxico en caso de que sean depredadas por otros animales y para la termorregulación; las lagartijas no pueden producir calor de forma autónoma como los mamíferos, por lo que tienen que exponerse a fuentes caloríficas externas, de ahí la frase “tomar el Sol como lagartija”. En la última década, la biliverdina en organismos animales ha sido de interés por dos motivos: 1) la medicina tradicional china la emplea como antioxidante y 2) la ruta metabólica de la degradación de la hemoglobina podría ser útil para el tratamiento de la ictericia en humanos.

Además de estas lagartijas, también hay peces, ranas y una especie de insecto con sangre verde, pero la concentración de biliverdina en estas especies no es tan grande.

Peces de hielo

Ahora nos falta hablar de cierto grupo de peces cuya sangre es trasparente. En el océano Antártico, los llamados “peces del hielo” carecen de pigmento respiratorio en la sangre, por lo que esta se considera sin color o transparente. Aunque parece ilógico no tener pigmento respiratorio en la sangre, es probable que se deba a que el pigmento aumentaría la viscosidad del fluido sanguíneo, lo que en lugares fríos dificultaría la actividad de bombeo del corazón. Así, la selección natural habría favorecido la eliminación del pigmento en estos organismos. Por otra parte, en este tipo de hábitat la disponibilidad de oxígeno es muy alta, por lo que no es necesario tener pigmento respiratorio. Incluso algunos investigadores han mostrado que estos peces han perdido la base ge-

nética para producir proteínas del tipo globulinas funcionales. Una desventaja es que estos peces poseen una tolerancia muy baja a la hipoxia (concentración de oxígeno por debajo de lo normal) en comparación con peces de sangre roja.

El color no importa

El estudio de la sangre en organismos como los mamíferos (incluidos los humanos) está muy avanzado, pero en otros como los anfibios y reptiles no. De los organismos de sangre azul o transparente sabemos muy poco. Una probable causa de esta desigualdad se debe a la dificultad de trabajar con ciertos organismos: obtener muestras para los análisis tiende a complicarse en la gartijas de cinco gramos de peso o ranas de tres centímetros.

Con el calentamiento global, una cantidad considerable de especies podrían desaparecer. Se ha propuesto que una opción es que migren a zonas más frías que las que habitan actualmente; por ejemplo, a zonas más elevadas o latitudes más altas, lo cual es bastante difícil para los cefalópodos y peces del hielo que ya habitan zonas cercanas a los polos. Sin embargo, para mamíferos, anfibios y reptiles sí es probable, siempre cuando tengan los mecanismos fisiológicos y conductuales necesarios. Por ejemplo, el aumento de los glóbulos rojos y la hemoglobina en la sangre, así como proteínas que impidan la congelación de los tejidos.

Ahora que hemos platicado de la función de la sangre, así como de sus variaciones de color,

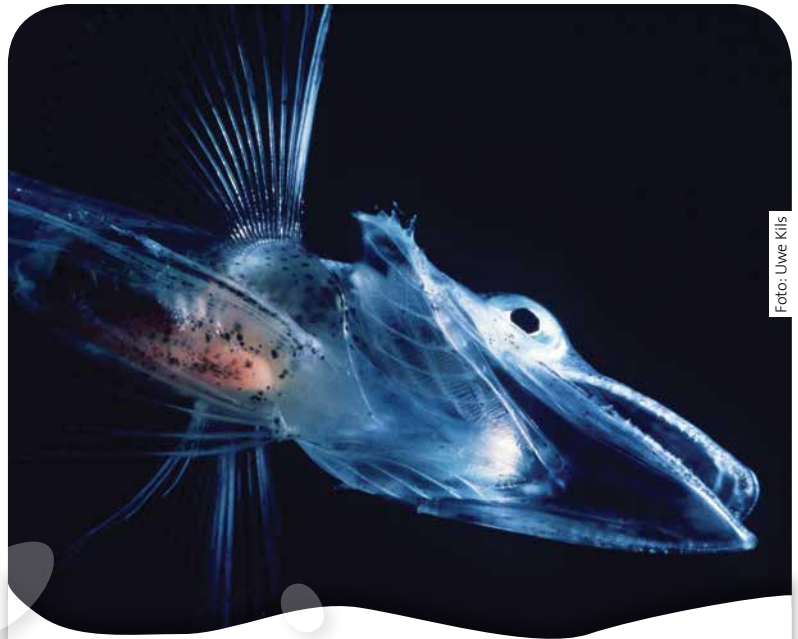


Foto: Uwe Kils

Los peces del hielo (*Chaenocephalus aceratus*) carecen de pigmento respiratorio en su sangre; esta es incolora o transparente.

debo decir que no se puede afirmar que un tipo de sangre sea mejor que otro. Simplemente, cada especie ha pasado por una serie de eventos de adaptación por selección natural que han moldeado a la especie de acuerdo con sus hábitos y biología en general. Los cefalópodos de sangre azul no son mejores organismos que los de sangre de otro color... y lo mismo se puede decir de los aristócratas en la especie humana, que otrora querían distinguirse por el supuesto color de su sangre. 🗨️

1

- Rosas Zavala, Alejandro; Karina Almeida Leñero, Norah Barba Behrens, "La hemocianina: ¿existen los seres de sangre azul?", *Educación Química*, Revistas UNAM: <http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/66686/>.
- Sierra Castillo, Claudia, "¿Tienen todos los animales sangre?", *Hypatia*, Gobierno del Estado de Morelos: www.revistahypatia.org/~revistah/index.php?option=com_content&view=article&id=148&Itemid=265
- Agencia SINC, "Desvelan el misterio de la sangre verde de los lagartos de Nueva Guinea", RTVE: www.rtve.es/noticias/20180521/desvelan-misterio-sangre-verde-lagartos-nueva-guinea/1737380.shtml



Juan Carlos González Morales es estudiante de doctorado en el Posgrado de Ciencias Biológicas de la UATx y colaborador del Instituto para la Conservación de la Cordillera Neovolcánica ante el Cambio Climático.

Jimena Rivera Rea es bióloga, estudiante de doctorado en Manejo y Conservación de Recursos Naturales en la UAEMéx y colaboradora del Instituto para la Conservación de la Cordillera Neovolcánica ante el Cambio Climático.

Descarga la **guía del maestro** para abordar este tema en el salón de clases.



www.comoves.unam.mx