

La anoxia como estrategia para la supervivencia: un caso especial en tortugas terrestres y una pregunta en tortugas marinas

Hace por lo menos dos billones de años que las formas primitivas de vida incorporaron el uso del oxígeno como aceptor final de electrones en la cadena respiratoria. El fenómeno de óxido-reducción permitió pasar de producir 2 ATP a partir de una mol de glucosa a entregarles a las células 36 ATP, proceso que cambió para siempre la habilidad para obtener la energía en la mayoría de los organismos vivos. Hoy en día, los órganos de la mayoría de mamíferos son altamente sensibles a las limitaciones de oxígeno; sin embargo, algunos vertebrados ectotérmicos están extraordinariamente adaptados a la tolerancia a este estrés. Tortugas de agua de los géneros *Trachemys* y *Chrysemys* utilizan la anaerobiosis como estrategia para vivir varios meses en condiciones de anoxia durante el invierno (Ultsch, 1989). Estas tortugas han sido juiciosamente estudiadas por la adaptación que les permite a sus órganos sobrevivir sin oxígeno (Krivoruchko y Storey, 2010). Sin embargo, los mecanismos moleculares relacionados con tolerancia a la anoxia en tortugas marinas no han sido caracterizados. Las tortugas dulceacuícolas *Trachemys* y *Chrysemys* han sido mundialmente utilizadas como modelos para identificar y entender los mecanismos moleculares de tolerancia a la anoxia y las bases moleculares de las lesiones producidas por la hipoxia/isquemia que ocurren en organismos sensibles al oxígeno, así como los problemas médicos, como el ataque cardíaco y accidente cerebrovascular, y la posible forma de evitarlos, así como enfermedades producidas por el estrés oxidativo, tales como parkinson o alzheimer (Buck, 2004). Además, podría conducir a la obtención de técnicas mejoradas para manipular y ayudar a preservar la viabilidad de órganos durante la cirugía, e incluso a mejorar la tecnología para su uso en hipotermia o crioconservación de tejidos y órganos, previo a trasplante. Lutz, Prentice y Milton (2003) propusieron que las tortugas pueden ser un excelente modelo para estudiar envejecimiento versus longevidad. Al parecer, el proceso que protege el cerebro de las tortugas contra la anoxia y la subsecuente reoxigenación debe contribuir a la longevidad de las tortugas, debido a que algunos procesos están relacionados con la neurodegeneración relacionada con la edad.

Las tortugas marinas, un grupo de siete especies, son los reptiles más distribuidos en todo el mundo. Sin embargo, se encuentran en declive poblacional, amenazadas o en peligro de extinción, debido a influencias antrópicas y ambientales. Una de estas especies de tortugas que anida en playas del Caribe colombiano es la tortuga cabeza *Caretta caretta*, que habita aguas tropicales y subtropicales; son animales longevos y de madurez tardía. Las tortugas cabezas son reptiles altamente migratorios que buscan profundidades adecuadas para alimentarse, protegerse o habitar. Gastan la mayor parte de su tiempo buceando debajo de la superficie marina (entre el 80 y 90 % del tiempo). Las adaptaciones metabólicas y los mecanismos fisiológicos que sustentan su capacidad para moverse por grandes distancias, con tiempos de anoxia prolongados y mantenimiento apropiado de agua, han sido el objetivo de gran interés por muchos años. Las tortugas cabezas exhiben generalmente un comportamiento contrario al esperado en buceadores que respiran aire; las tortugas de caparazón duro descansan en el fondo, regularmente por largos periodos durante las etapas demersales de su ciclo de vida. Tienen alta capacidad anaeróbica y cerebro tolerante a la anoxia. Debido a que, cuando los pulmones colapsan durante inmersiones profundas, su capacidad

de almacenamiento es prescindible, las especies incrementan su volumen sanguíneo y las concentraciones de los pigmentos respiratorios. Adicionalmente, la tolerancia a la anoxia es desarrollada, al parecer, conforme aumentan de tamaño, lo que define la profundidad a la cual realizan buceos.

Las tortugas marinas *Caretta caretta* han sido estudiadas en los últimos diez años por el grupo de investigación Genbimol de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, y por tal motivo representa el modelo de estudio de tortugas marinas, en este caso de anoxia-tolerancia. Es importante dilucidar cómo las tortugas marinas han alterado las vías moleculares de detección y respuesta a la anoxia que podrían explicar su extraordinaria capacidad para sobrevivir en condiciones limitadas de oxígeno. Una vía metodológica para obtener respuesta a esta pregunta la representan los análisis transcryptómicos, método basado en la secuenciación de alto rendimiento (RNA-seq), que permite estudiar la expresión diferencial de genes entre organismos con condiciones biológicas diferentes. A diferencia del genoma, relativamente estable, el transcriptoma varía con la edad, el estado de desarrollo, condición fisiológica y el ambiente. Además, la transcriptómica ha sido utilizada para investigar organismos no modelo, como es el caso de la tortuga cabezona. De esta manera, en aras de establecer si algunos de los marcadores, vías metabólicas o procesos moleculares asociados a la tolerancia a la anoxia en tortugas dulceacuícolas, vertebrados modelo, se encuentran presentes en la tortuga cabezona, e identificar si la anoxia es una adaptación que se desarrolla de acuerdo a la edad de las tortugas, se deben realizar estudios tendientes a conocer y explicar estos fenómenos biológicos.

Javier Hernández-Fernández

Editor de Ciencias Naturales

<http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1250>

REFERENCIAS

- Buck, L. T. (2004). Adenosine as a signal for ion channel arrest in anoxia-tolerant organisms. *Comparative Biochemistry and Physiology. B, Biochemistry and Molecular Biology*. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2004.04.002>
- Krivoruchko, A. y Storey, K. B. (2010). Regulation of the heat shock response under anoxia in the turtle, *Trachemys scripta elegans*. *Journal of Comparative Physiology. B, Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*. <https://doi.org/10.1007/s00360-009-0414-9>
- Lutz, P. L., Prentice, H. M. y Milton, S. L. (2003). Is turtle longevity linked to enhanced mechanisms for surviving brain anoxia and reoxygenation? *Experimental Gerontology*. [https://doi.org/10.1016/S0531-5565\(03\)00111-6](https://doi.org/10.1016/S0531-5565(03)00111-6)
- Ultsch, G. R. (1989). Ecology and physiology of hibernation and overwintering among freshwater fishes, turtles, and snakes. *Biological Reviews*, 64(4), 435-515. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1989.tb00683.x>