

inventio

La génesis de la cultura universitaria en Morelos



Año 14, número 33, julio-octubre 2018, pp. 45-48

ISSN: 2007-1760 (impreso), 2448-9026 (digital)

DOI: 10.30973/inventio/2018.14.33/6

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Resistencia a la congelación, una adaptación biológica extraordinaria

Oscar Horacio Alejandro Mares Durán / ORCID: 0000-0002-9132-1584 / lamaralex302@gmail.com

Estudiante de la Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias Biológicas (FCB)

Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

RESUMEN

Los animales han adquirido a través de la evolución distintos métodos para sobrevivir en condiciones extremas de congelación. Estas adaptaciones abarcan desde lo más simple, como usar fuentes externas para obtener calor, hasta adaptaciones fisiológicas y conductuales muy complicadas, como la de la *Rana sylvatica*, la cual puede modificar la química de su sangre con el fin de evitar la cristalización total de su cuerpo y limitar sus signos vitales. Al igual que esta rana, hay muchos animales que, gracias a sus adaptaciones evolutivas, cuentan con métodos que rozan con la ciencia ficción y ayudan a que sobrevivan ante ambientes poco amigables. En este artículo en particular, se muestran algunos ejemplos de cómo la naturaleza ha generado estrategias para sobrevivir ante condiciones de frío extremo.

PALABRAS CLAVE

rana; bosque; adaptación; frío; células; fisiología

Universidad Autónoma del Estado de Morelos / Secretaría Académica
Dirección de Publicaciones y Divulgación
inventio.uaem.mx, inventio@uaem.mx

Resistencia a la congelación, una adaptación biológica extraordinaria

Oscar Horacio Alejandro Mares Durán *



Los animales se pueden clasificar en dos grupos, de acuerdo con la forma en que regulan su temperatura corporal: endotermos –mamíferos y aves– y ectotermos –anfibios, invertebrados, reptiles y peces–.¹ Los primeros son capaces de elevar su calor corporal modificando mecanismos de respiración celular, y su fisionomía cuenta con adaptaciones que les ayudan a regular su temperatura interna, como los pelos, las plumas e incluso adaptaciones conductuales. Por ejemplo, los elefantes tienen una capa exterior de pelo que les ayuda, junto con su piel arrugada, a reducir el calor corporal, la cual es una adaptación parecida a las espinas de los cactus o las vellosidades de las hojas.² Las plumas del pingüino emperador son otro caso impresionante de adaptación en respuesta a la temperatura. Este animal cuenta con diferentes tipos de plumas alrededor de su cuerpo que varían en densidad, que al tener una capa aislante de la temperatura fría extrema le benefician.³

La mayoría de los mamíferos adoptan estrategias conductuales para mantener y disipar el calor corporal. La postura comúnmente llamada *hacerse bolita* permite reducir la proporción de área por volumen del cuerpo, lo cual disminuye

la superficie de contacto con el aire y minimiza la pérdida de calor. Otra adaptación es la de acurrucarse en grupos numerosos, con el fin de limitar la disipación de energía y así disminuir la necesidad energética de producir calor.⁴

¹ Elsa J. Glanville, Shauna A. Murray y Frank Seebacher, "Thermal adaptation in endotherms: climate and phylogeny interact to determine population-level responses in a wild rat", *Functional Ecology*, vol. 26, núm. 2, 2012, pp. 390-398, DOI: 10.1111/j.1365-2435.2011.01933.x

² Conor L. Myhrvold, Howard A. Stone y Elie Bou-Zeid, "What is the use of elephant hair?", *PLoS ONE*, vol. 7, núm. 10, 2012, pp. e47018, DOI: 10.1371/journal.pone.0047018

³ Cassondra L. Williams, Julie C. Hagelin y Gerald L. Kooyman, "Hidden keys to survival: the type, density, pattern and functional role of emperor penguin body feathers", *Proceedings of the Royal Society B*, vol. 282, núm. 1817, 2015, pp. 2015-2033, DOI: 10.1098/rspb.2015.2033

⁴ Jeremy Terrien, Martine Perret y Fabienne Aujard, "Behavioral thermoregulation in mammals: a review", *Frontiers in Bioscience*, vol. 16, núm. 4, 2011, pp. 1428-1444, DOI: 10.2741/3797

* Estudiante de la Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias Biológicas (FCB)
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)



Por el contrario, los animales ectotermos no son capaces de producir el calor corporal que necesitan para realizar sus funciones básicas. Éstos tienen que recurrir a fuentes externas para elevar su temperatura. El calor en los animales es transportado a través de la sangre. Cuando la temperatura disminuye rápidamente, los organismos ectotermos restringen el flujo sanguíneo de sus extremidades y lo dirigen hacia los órganos internos. Sin embargo, los vasos capilares pueden terminar congelándose ante una exposición prolongada ante el frío, causando ausencia de oxígeno en los tejidos contiguos.⁵

Ante condiciones de congelamiento, los animales ectotermos cuentan con dos estrategias para sobrevivir. La primera consiste en evitar la cristalización del líquido extracelular a través de la sobrefusión de sus fluidos. Este proceso consiste en rebasar el punto de solidificación sin llegar a la cristalización. La segunda estrategia consiste en resistir la congelación del líquido extracelular sin recibir daños en los tejidos. Celularmente, el daño al tejido debido a la congelación no está determinado por una temperatura baja limitante, sino por un margen de entre -5 °C y -15 °C, en donde el agua extracelular se congela pero dentro de la célula se encuentra en un estado todavía líquido.

En este caso, las células terminan deshidratándose, ya que el agua extracelular congelada es menos densa que el agua líquida, y el agua intracelular escapa a través de sus membranas celulares por el proceso de ósmosis. La deshidratación en las células causa una alta concentración de químicos no disueltos en el espacio intracelular y una disminución en el tamaño de la membrana, lo cual puede ocasionar muerte celular.⁶ Algunos insectos cuentan con proteínas anticongelantes en la sangre que les ayudan en este proceso. Especies como el escarabajo de la harina (*Tenebrio molitor*), la cucaracha de la madera (*Parcoblatta pennsylvanica*) o la chinche del algodoncillo (*Oncopeltus fasciatus*) tienen la capacidad de producir anticongelantes biológicos que protegen su sangre (hemolinfa) y sus órganos internos.⁷

No sólo los organismos invertebrados han adquirido estas estrategias evolutivas: la rana del bosque (*Rana sylvatica*) cuenta con una de las adaptaciones biológicas más impresionantes hacia las adversidades ambientales. Esta adaptación consiste en evitar la congelación de su cuerpo incluso a temperaturas menores a -16 °C. Esta rana es un anfibio capaz de modificar la química de su sangre con la finalidad de evitar la cristalización total de su cuerpo y limitar sus signos vitales.

⁵ Justin A. MacDonald, Thorsten Degenhardt, John W. Baynes y Kenneth B. Storey, "Glycation of wood frog (*Rana sylvatica*) hemoglobin and blood proteins: in vivo and in vitro studies", *Cryobiology*, vol. 59, núm. 2, 2009, pp. 223-225, DOI: 10.1016/j.cryobiol.2009.06.008

⁶ Doyong Gao y J. K. Critser, "Mechanisms of cryoinjury in living cells", *ILAR journal*, vol. 41, núm. 4, 2000, pp. 187-196, <https://bit.ly/2PuHHow>

⁷ Angela Ploomi, Irja Kivimägi, Eha Kruus, Ivar Sibul, Katrin Jõgar, Külli Hiisaar y Luule Metspalu, "Seasonal cold adaptation dynamics of some carabid beetle species: *Carabus granulatus*, *Pterostichus oblongopunctatus* and *Platynus assimilis*", *Forestry Studies*, vol. 57, núm. 2, 2012, pp. 90-96, DOI: 10.2478/v10132-012-0007-3

Se encuentra ampliamente distribuida en América del Norte, desde el noreste de Estados Unidos hasta la parte noroeste de Canadá, y cubre casi todo el territorio de Alaska. En estos sitios la temperatura cotidiana es extrema. Por ejemplo, en Alaska fluctúa entre los 30 °C en verano y los -51 °C en invierno. Cuando esta especie es adulta pasa la mayor parte del tiempo en la hojarasca, que se encuentra a una humedad mayor que la del resto del ambiente. En tiempo invernal, cuando la temperatura del entorno baja, el cuerpo de la rana empieza a almacenar urea. Este anfibio cuenta con la capacidad de retrasar sus procesos fisiológicos o entrar en un estado de diapausa, con el propósito de resistir el congelamiento; cuando toca un cristal de hielo ésta se petrifica, lo cual evita la muerte del anfibio.⁸

R. sylvatica cuenta con la capacidad de evitar el congelamiento de su fluido extracelular en ciertas regiones, principalmente los órganos internos. Su sangre se mezcla con otros compuestos producidos dentro de su cuerpo para disminuir su punto de congelación y así cambiar sus propiedades coligativas. Estas propiedades determinan los puntos de fusión y solidificación de una sustancia. Cuando dos sustancias se mezclan, sus propiedades coligativas también se ven afectadas.

Los niveles de glucosa en la sangre de la rana aumentan considerablemente desde los primeros minutos de congelación. La glucosa, junto con la

urea, se diluye con la sangre para formar un anticongelante biológico que evita la congelación a temperaturas en las que el agua se solidifica. Ésta es la razón por la cual *R. sylvatica* almacena urea a principios de invierno. Incluso, contando con esta adaptación, la rana del bosque también es capaz de resistir la cristalización de sus tejidos, debido a que sus células están adaptadas ante la posible solidificación del líquido extracelular.

El congelamiento de los fluidos extracelulares presenta un problema para las células de los tejidos congelados. El sistema circulatorio y respiratorio del organismo se encuentra inactivo y la forma de transportar oxígeno está solidificada durante su congelación. Las células de la rana necesitan oxígeno para poder respirar y así generar energía. Durante su etapa de congelación, pasan de ser aerobias a anaerobias, obteniendo energía gracias a la oxidación de glucosa.

La respiración anaerobia produce residuos que, en altas concentraciones, podrían ser tóxicos, como la alanina y el lactato. Ante esto, algunas enzimas especializadas se encargan de recombinar las moléculas energéticas ya usadas anteriormente para producir nuevas fuentes de energía química. Los productos de estas reacciones se procesan como ácido úrico para su posterior excreción.⁹

Cuando la temperatura exterior aumenta, los primeros órganos que se descongelan en *R. sylvatica* son el corazón, el cerebro y el hígado. Los tres

⁸ M. Clara F. do Amaral, Richard E. Lee Jr. y Jon P. Costanzo, "Enzymatic regulation of glycogenolysis in a subarctic population of the wood frog: implications for extreme freeze tolerance", *PLoS ONE*, vol. 8, núm. 11, 2013, pp. e79169, DOI: 10.1371/journal.pone.0079169

⁹ Jean Abboud y Kenneth B. Storey, "Novel control of lactate dehydrogenase from the freeze tolerant wood frog: role of post-translational modifications", *PeerJ*, vol. 1, 2013, pp. e12, DOI: 10.7717/peerj.12



órganos se deben descongelar al mismo tiempo para que exista una buena coordinación entre el sistema nervioso, el sistema circulatorio y el sistema digestivo-excretorio. Si las extremidades de la rana del bosque se descongelaran primero sufrirían de necrosis, ya que no habría un sistema cardiovascular que pudiera distribuirles oxígeno. Este proceso de descongelación puede durar entre una y dos horas.¹⁰

El umbral de los $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ por el que deben pasar las células al congelarse de forma sincronizada también está presente en el proceso de la descongelación. Al igual que en el proceso de congelación, en la descongelación las células del anfibio son capaces de resistir este proceso debido a la mezcla de sustancias en la sangre que le sirvieron como anticongelante biológico para sus órganos.

A pesar de lo extraordinario que parece el caso de *R. sylvatica* otras especies también presentan

adaptaciones ante el frío extremo. Los peces del suborden Notothenioidei se encuentran distribuidos a lo largo de las aguas congeladas de la Antártida. Estos peces también cuentan con proteínas que funcionan como anticongelantes biológicos para sus fluidos internos.¹¹

Otro caso es el de los nemátodos del género *Panagrolaimus*. Éstos presentan un mecanismo de anhidrobiosis que les ayuda a sobrevivir en temperaturas bajo cero. La anhidrobiosis es un proceso fisiológico que consiste en la casi completa desecación del organismo, que previene daños ante las bajas temperaturas.¹² Esta estrategia también la tienen los rotíferos, tardígrados, crustáceos e insectos.¹³ Estos casos son una muestra de los límites de las adaptaciones evolutivas y de lo mucho que todavía se puede investigar sobre algo que pareciera un tema de ciencia ficción.

¹⁰ Ivan R. Schwab, "An icy stare", *British Journal of Ophthalmology*, vol. 98, núm. 10, 2005, p. 1236, DOI: 10.1136/bjo.2005.074336

¹¹ Paul A. Cziko, Arthur L. DeVries, Clive W. Evans y Chi-Hing Christina Cheng, "Antifreeze protein-induced superheating of ice inside Antarctic notothenioid fishes inhibits melting during summer warming", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 111, núm. 40, 2014, pp. 14583-14588, DOI: 10.1073/pnas.1410256111

¹² Lorraine M. McGill, Adam J. Shannon, Davide Pisani, Marie-Anne Félix, Hans Ramløv, Ilona Dix, David A. Wharton y Ann M. Burnell, "Anhydrobiosis and freezing-tolerance: adaptations that facilitate the establishment of *Panagrolaimus* nematodes in polar habitats", *PLoS ONE*, vol. 10, núm. 3, 2015, pp. e0116084, DOI: 10.1371/journal.pone.0116084

¹³ S. Hengherr, M. R. Worland, A. Reuner, F. Brümmer y R. O. Schill, "High-temperature tolerance in anhydrobiotic tardigrades is limited by glass transition", *Physiological and Biochemical Zoology*, vol. 82, núm. 6, 2009, pp. 749-755, DOI: 10.1086/605954