



Pequeños pero invencibles

Silvia Zenteno

Cuenta la leyenda urbana que cuando las guerras nucleares acaben con el mundo las únicas sobrevivientes serán las cucarachas. Sin embargo, existe un animal que es mucho más resistente. Un animal que se encuentra en todas partes sin ser visto. Un animal que a pesar de su apariencia de osito de peluche es capaz de sobrevivir a montañas heladas, volcanes, explosiones radiactivas e incluso al espacio exterior. ¡Estoy hablando de los invencibles tardígrados!

¿Tardi qué?

Los tardígrados (del latín *tardígradus*, que significa movimientos lentos), también conocidos como ositos de agua, son un *phylum* de animales invertebrados capaces de vivir en cualquier parte del mundo, desde las profundidades abismales del mar hasta los lugares terrestres más inhóspitos. Existen desde hace 600 millones de años ¡400 millones de años

antes de la aparición de los dinosaurios! y se han descrito al menos 1000 especies diferentes.

Son llamados osos de agua por su apariencia rechoncha que recuerda a la de un oso, y porque necesitan al menos una capa de agua alrededor de sus cuerpos para llevar a cabo las actividades necesarias para la vida. Tienen un cuerpo en forma de cilindro y cuatro pares de patas con garras en sus extremos con las que se desplazan (ver figura 1). Cuentan con cerebro, órganos sensoriales, músculos y un aparato digestivo que incluye dos aberturas: la boca y la cloaca (que sirve para excreción de desechos, cópula y salida de las crías). Lo que no tienen es un sistema respiratorio, ni lo equivalente a los riñones o al corazón en los invertebrados. Los tardígrados se alimentan de bacterias, algas, hongos, líquenes y pequeños invertebrados como nematodos. Una misma especie puede tener poblaciones que se reproducen sexualmente y otras que lo hacen por partenogénesis (en ella los óvulos se desarrollan sin haber sido fecundados).

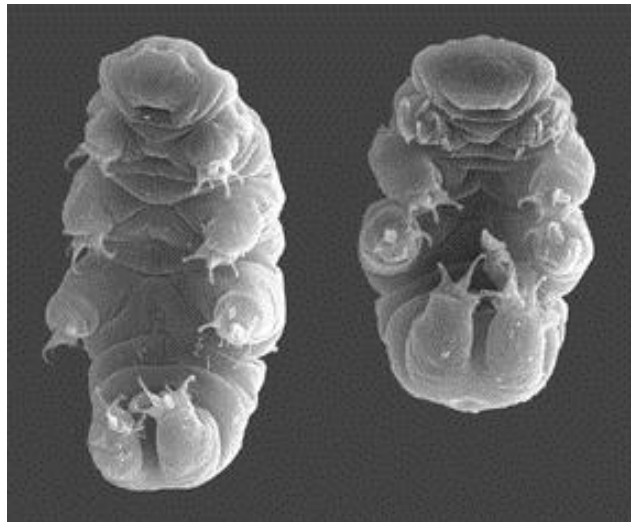


Figura 1. Microfotografía electrónica de barrido que muestran al tardígrado de la especie *Hypsibius dujardini*. (Imagen de Willow Gabriel y Bob Goldstein, bajo una licencia CC-BY-SA 2.5) (<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Waterbear.jpg>)

Si existen en cualquier parte, ¿por qué nunca nadie los ve o sabe siquiera de su existencia? Estos animalitos son muy pequeños; pueden llegar a medir una cuarta parte de un milímetro (ver figura 2). En teoría, si recoges un pedazo de musgo y lo rehidratas, verás en él varios osos de agua bajo el microscopio. Pero que no te engañe su tamaño, estos organismos son los más resistentes del planeta. Son capaces de tolerar circunstancias extremas: temperaturas bajo cero o muy altas, largos periodos sin alimento o agua, exposición a pH extremo, químicos tóxicos, vacío, altas dosis de radiación ionizante y UV, cambios en la concentración de sales o en la presión atmosférica, e incluso a la falta de oxígeno.



Figura 2. Comparación de tamaño entre un oso de agua de la especie *Hypsibius dujardini* y un gusano redondo (*C. elegans*). (Modificada de la imagen de Bob Goldstein y Victoria Madden, bajo una licencia CC-BY-SA 3.0)

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wormandwaterbear.jpg>

¿Cómo es que sobreviven a todo eso?

Los ositos acuáticos son capaces de entrar en criptobiosis, un estado de vida en el que se cree que la actividad metabólica se detiene por completo y que es inducido por condiciones ambientales extremas. Así, al dispersarse en el viento, pueden colonizar eficientemente nuevos ecosistemas hostiles y extremos que excluyen a muchos otros organismos. Pero lo más interesante es que la criptobiosis es un estado reversible, ya que se puede reanudar la vida al retirarse las condiciones adversas.

En este estado los tardígrados recogen sus patas, compactan sus órganos internos y contraen el cuerpo, adquiriendo forma de barril. Con esta forma cerrada reducen su superficie de evaporación en ausencia de agua. También atenúan la permeabilidad de la cutícula que los rodea. Todo esto les ayuda a retener agua y tolerar la deshidratación. De esta manera, los tardígrados en criptobiosis pueden ser calificados de invencibles. No obstante, no todos soportan todas estas condiciones; existen especies que sobreviven a varias de ellas, y especies que son las únicas capaces de sobrevivir ante una determinada condición. Además, los niveles de resistencia varían entre especies; por ejemplo, las especies que viven en el mar son más tolerantes a cambios en la salinidad. Por otro lado, en algunas especies de tardígrados su reloj interno se detiene durante la criptobiosis, ignorando el paso del tiempo, interrumpiendo el proceso de envejecimiento y extendiendo su longevidad.

La razón por la que todos los demás organismos somos incapaces de resistir a las mismas condiciones extremas que los tardígrados, es que éstas provocan daños irreparables en las proteínas y el ADN, causando muerte celular. Es por esto que el fenómeno de la criptobiosis ha sido uno de los mayores enigmas de la naturaleza, ya que no se sabe cómo es que los tardígrados previenen y/o reparan los daños ocasionados por esta condición, ni cómo es que el metabolismo puede ser reiniciado después de años en suspensión.

Los secretos de la muerte y la resurrección

Durante la criptobiosis se activan potentes mecanismos de reparación del ADN, así como la producción de membranas biológicas con fosfolípidos específicos, enzimas antioxidantes, carbohidratos y proteínas que protegen a las células y los tejidos de los tardígrados. Estos carbohidratos y proteínas se conocen como bioprotectores e interactúan directamente con el ADN, membranas celulares y otras proteínas.

Se ha observado que durante la deshidratación, los tardígrados acumulan un disacárido llamado trehalosa. Éste actúa como estabilizador molecular al formar puentes de hidrógeno con las membranas, reemplazando al agua y preservando las estructuras. También forma “cristales”, un estado en el que la movilidad de las macromoléculas se reduce enormemente. Sin embargo, no todas las especies de tardígrados poseen trehalosa, lo que indica que su presencia no es suficiente para explicar la resistencia observada en estos animales. Hay además otros organismos que también entran en estado criptobiótico, como las artemias salinas (o *sea monkeys*), utilizan hasta cinco veces más trehalosa que la encontrada en los osos de agua.

También se cree que la entrada y salida de la criptobiosis depende de la síntesis de las proteínas de choque térmico, unas moléculas que responden a diferentes tipos de estrés externo. Éstas ayudan a que las nuevas proteínas que se están sintetizando se plieguen de forma apropiada, las protegen del desdoblamiento y las llevan al lugar dentro de la célula donde cumplirán su función. Actúan por lo tanto como estabilizadores bioquímicos en condiciones ambientales adversas, y en el proceso de recuperación y reparación cuando estos organismos regresan al estado activo. Sin embargo, no todas las especies de tardígrados tienen altos niveles de expresión de estas proteínas.

Podría ser que el esfuerzo unido de estas proteínas con la trehalosa y otros bioprotectores ayude a la supervivencia de los tardígrados en estado criptobiótico.

La criptobiosis no es la única

Recientemente se encontró una especie de tardígrado que no entra en criptobiosis, y aun así soporta grandes alteraciones en la salinidad y la temperatura. Esta especie se caracteriza por sufrir cambios cíclicos estacionales en su morfología y fisiología, conocidos como ciclomorfosis, la cual se compone de varias etapas. Una de ellas es el estado pseudosimple 1 (P1) en el que hay una disminución del metabolismo, y el organismo evita el congelamiento al enfriarse a -20°C ; aunque no aguanta temperaturas tan bajas como en el estado criptobiótico. En P1 se crea una nueva cutícula, sobre la anterior, con garras más pequeñas y se cierra la boca y la cloaca.

Algunas especies sólo pueden entrar en criptobiosis, otras sólo en ciclomorfosis y muchas otras realizan ambas, incluso simultáneamente, lo que incrementa su defensa.

Los tardígrados adultos no son los únicos capaces de entrar en estos estados, sus huevos también; esto sincroniza el ciclo de vida con un ambiente favorable para el desarrollo y la reproducción.

Por otro lado, se ha visto que algunas especies son capaces de tolerar ¡hasta cinco veces más radiación gamma en el estado activo que en el criptobiótico! Esto indica que la protección contra el daño al ADN que causa la radiación no depende de los bioprotectores asociados a la criptobiosis sino de otros mecanismos aún desconocidos.

¿Qué tan invencible es su invencibilidad?

A pesar de que los osos microscópicos son los candidatos número uno para sobrevivir al fin del mundo, su supervivencia en criptobiosis tiene un límite. La falta de actividad metabólica los hace vulnerables a infecciones por hongos o bacterias, así como a daños en tejidos y órganos por oxidación de radicales libres, cuando éstos sobrepasan un cierto límite. Esto último provoca la acumulación de daños al ADN, la inactivación de las enzimas antioxidantes y de reparación del ADN, e incrementa la

degradación de proteínas y ácidos grasos de las membranas. Así, aunque al principio los daños son mínimos e inofensivos, entre más tiempo dura la criptobiosis, más daños se acumulan, y tardan más en recuperarse, si es que no llegan al límite letal.



Figura 3. Apariencia de los tardígrados bajo el microscopio. Algunos de ellos son transparentes. (Imagen de Frank Fox, bajo una licencia CC-BY-SA 3.0 (<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mikrofoto.de-baertierchen2.jpg>))

Musas de la tecnología

En el 2007 y el 2011 se enviaron tardígrados al espacio para ser expuestos a condiciones como el vacío y la radiación cósmica y solar. Se concluyó que a pesar de las discrepancias en las tasas de supervivencia de las distintas especies, los tardígrados, tanto adultos como embriones, hidratados o deshidratados, pueden sobrevivir en el espacio: mostraron inducción de respuesta antioxidante y ausencia de rupturas en el ADN, y los activos pusieron huevos que se desarrollaron de forma normal y que se reprodujeron. Estos estudios podrían sugerir estrategias para proteger a los humanos cuando son expuestos a las condiciones desfavorables de los

ambientes espaciales, por lo que los tardígrados son un modelo emergente en biología espacial.

Los tardígrados también han atraído el interés científico porque los mecanismos de entrada y salida de la criptobiosis podrían utilizarse en la criopreservación y deshidratación segura de material biológico. Ya se ha logrado recuperar células humanas viables después de un corto periodo de deshidratación al expresar en ellas los genes bacterianos que sintetizan la trehalosa.

Aunque los osos de agua han formado parte del insólito interés de los científicos desde que fueron descritos hace más de 300 años por Leeuwenhoek, es poco lo que se sabe de la fisiología normal de estos organismos. Aún falta mucho por estudiar para entender los procesos que se llevan a cabo durante la criptobiosis y la ciclomorfosis, desde el nivel molecular hasta el del organismo completo, lo que lo convierte en un prometedor campo de investigación.

Finalmente, el hecho de que los tardígrados estén adaptados para sobrevivir a condiciones que sobrepasan por mucho los extremos presentes en la Tierra todavía resulta un rompecabezas sin solución.

Para los curiosos...

1. Caminata del oso de agua: <http://www.youtube.com/watch?v=D6Eac3UKEII>
2. Hora de la comida: <http://www.youtube.com/watch?v=mu0fvnXOOhQ>
3. Nacimiento del oso de agua: <http://www.youtube.com/watch?v=sNf5LKpZxOc>
4. Cómo tener un tardígrado de mascota: [http://es.wikihow.com/encontrar-y-tener-como-mascota-a-un-tard%C3%ADgrado-\(oso-de-agua\)](http://es.wikihow.com/encontrar-y-tener-como-mascota-a-un-tard%C3%ADgrado-(oso-de-agua))
5. Tardígrados en México: <http://www.ejournal.unam.mx/zoo/065-02/ZOO65207.pdf>

Bibliografía especializada

1. Schill, R.O., Mali, B., Dandekar, T., Schnolzer, M., Reuter, D. y Frohme, M., "Molecular mechanisms of tolerance in tardigrades: New perspectives for

preservation and stabilization of biological material”, *Biotechnology Advances*, 27(4): 348-352 (2009).

2. Halberg, K.A., Persson, D., Ramlov, H., Westh, P., Kristensen, R.M. y Mobjerg, N., “Cyclomorphosis in Tardigrada: adaptation to environmental constraints”, *Journal of Experimental Biology*, 212(17): 2803-2811 (2009).

3. Guidetti, R., Rizzo, A.M., Altiero, T., y Rebecchi, L., “What can we learn from the toughest animals of the Earth? Water bears (tardigrades) as multicellular model organisms in order to perform scientific preparations for lunar exploration”, *Planetary and Space Science*, 74(1): 97-102 (2012).

4. Glime, J. M., « Tardigrade Survival. Chapt. 5-1” en: Glime, J. M. *Bryophyte Ecology*. Volume 2. *Bryological Interaction*. Ebook 5-1-1 (2013), isponible en: www.bryoecol.mtu.edu