

Psicrófilos: los secretos para no morir de frío

Pablo Martínez

Durante el siglo XVIII persistía en Europa la idea de que al sur del planeta se encontraba un gran continente al que llamaban Terra Australis Incognita. La supuesta explicación para la existencia de este lugar era que se necesitaba una gran masa de tierra al sur que compensara el peso de los continentes en el norte. Durante ese siglo varios países organizaron expediciones para buscar este lugar desconocido, ya que se tenía la idea de que era un continente habitable y por ello muchos lo querían reclamar como suyo.

Las exploraciones australes mostraron que no existía un continente tan grande como se pensaba originalmente; inclusive se llegó a considerar que las islas de

Tierra de Fuego, Chile y aun Australia formaban parte de Terra Australis. También concluyeron que si tal continente existía, no tendría las condiciones necesarias para ser habitable debido a las bajas temperaturas.

Si bien el Polo Sur no tiene las condiciones ideales para ser habitado por humanos, no es un lugar estéril como observó el explorador James Cook en su circunnavegación por la Antártida entre 1772 y 1775. En ella los exploradores de aquel entonces encontraron grandes poblaciones de focas, leones marinos, ballenas y pingüinos; lo que no pudieron observar es que también alberga otro tipo de especies para las cuales el frío no sólo no es un problema para vivir, sino una necesidad: microorganismos procariontes psicrófilos, literalmente amantes del frío que viven entre los 5° y -20°C.

Al pensar en ambientes con tan bajas temperaturas la primera idea que viene a la mente es que son lugares aislados, relativamente pequeños y confinados en los polos. En realidad, se calcula que cerca del 80% de la superficie terrestre corresponde a zonas con temperaturas por debajo de los 5°C, principalmente porque en el mar a un kilómetro de la superficie, el agua se encuentra constantemente a 4°C.

Los organismos unicelulares que viven a temperaturas entre cinco y -20°C deben poseer importantes adaptaciones ya que la vida a bajas temperaturas presenta grandes retos. En gran medida por la dificultad de cultivar organismos psicrófilos porque requieren condiciones muy especiales difíciles de reproducir en el laboratorio, aún no se entienden por completo los mecanismos de adaptación que han desarrollado para vivir en el frío pero sí se conocen algunas de sus estrategias.

Los problemas del agua

Uno de los problemas de vivir a temperaturas cercanas al punto de congelación del

agua es precisamente que el agua se congela y aumenta su volumen; como las células contienen mucha agua es fácil entender que la congelación se vuelva un problema de vida o muerte. Cualquiera que haya congelado carne o fruta en el refrigerador habrá notado que al descongelarla no recupera su consistencia original; esto se debe en parte a los cristales de hielo que se forman y rompen las membranas celulares dañando los tejidos. Para lidiar con este problema los psicrófilos sintetizan moléculas crioprotectoras que actúan como anticongelantes que les evitan llegar al punto de congelación. El etilen glicol y otros anticongelantes que se les ponen a los radiadores de los automóviles son similares a las sustancias que sintetizan los psicrófilos con este fin.

No sólo el agua congelada causa problemas a las células normales, conforme disminuye la temperatura disminuye también la difusión de las sustancias en el agua, lo cual trae problemas para la correcta distribución de diversos tipos de moléculas dentro de la célula.

Una de las estrategias que utilizan los organismos para resolver este problema es aumentar el número de moléculas involucradas en los procesos que dependen de la difusión para que no hagan falta donde se requieren.

Un problema importante con el agua a bajas temperaturas es que comienza a ser menos polar. Normalmente el agua es una sustancia polar; por las características de los átomos que la forman (dos hidrógenos y un oxígeno), una región de su molécula tiene carga negativa y la región opuesta la tiene positiva (Figura 1).

La polaridad a gran escala causa que el agua no se disuelva en líquidos no polares como el aceite, tenga tensión superficial, o en un ejemplo más dramático, se afecte por objetos cargados eléctricamente. Por ejemplo, un delgado chorro de agua se desviará de su curso si se le acerca un globo que se ha frotado en el pelo; esto

se debe a que la carga estática adquirida por el globo, al interactuar con las moléculas polares del agua, las atraerá y causará que el chorro de agua se desvíe ligeramente, inclusive a pesar de la gravedad.

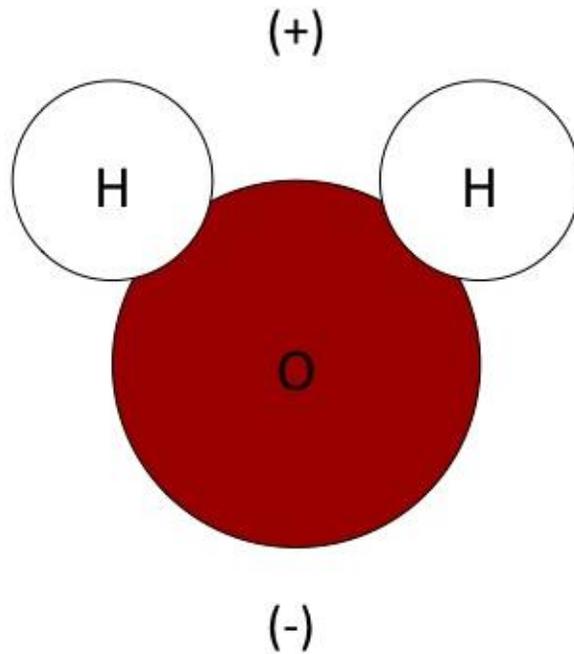


Figura 1. Molécula de agua con sus cargas (+) y (-).

La membrana celular

Una parte fundamental de todas las células es la membrana celular, ya que es la que aísla al sistema del medio permitiendo que se mantenga ordenado a pesar de las condiciones exteriores. Esta membrana está formada por dos capas de fosfolípidos (figura 2), un tipo de grasas.

Esta membrana tiene una consistencia similar a la del aceite, y parte de sus funciones depende de que no sea rígida y forme un sustrato fluido en el que se muevan los distintos componentes de la célula según se necesiten. Además, la membrana normalmente permite el paso de ciertas moléculas necesarias para la

célula, por lo que se dice que es semipermeable. Así como el aceite o la mantequilla se solidifican en ambientes fríos, la membrana celular a bajas temperaturas pierde fluidez, lo cual tiene graves consecuencias para las células: el movimiento de sus componentes se limita y la permeabilidad también se reduce.

Como se muestra en la figura 2, los fosfolípidos normalmente tienen cadenas casi lineales; esta forma es especialmente sensible a temperaturas bajas, ya que la fluidez de la membrana tenderá a disminuir al compactar los fosfolípidos. Una manera muy efectiva que han desarrollado los organismos adaptados para vivir en el frío es promover la formación de dobles enlaces en las cadenas que impiden la compactación de las cadenas y mantienen la fluidez de la membrana incluso a bajas temperaturas.

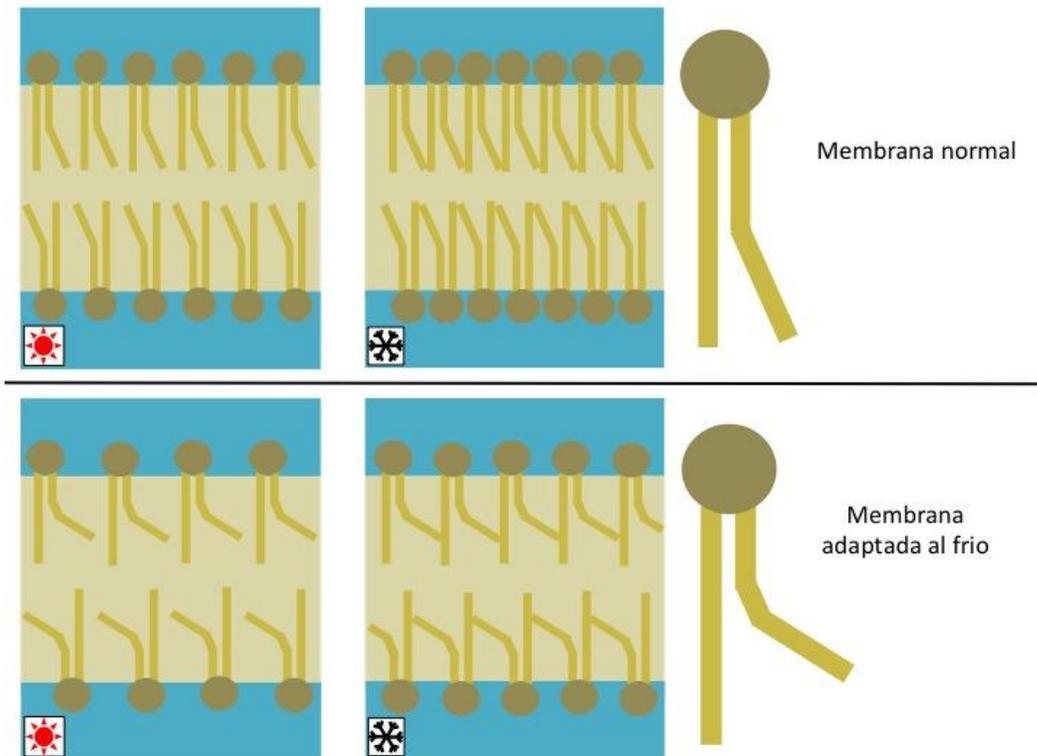


Figura 2. Estructura de la membrana celular, una representación esquemática de los fosfolípidos.

Las enzimas

Muchas de las reacciones metabólicas que lleva a cabo una célula se clasifican termodinámicamente como endotérmicas, esto significa que para llevarse a cabo necesitan energía, por ejemplo la evaporación del agua es un fenómeno de esta clase, por ello al hacer ejercicio la evaporación del sudor ayuda a evitar que el cuerpo se caliente demasiado. Al vivir en ambientes con bajas temperaturas las reacciones endotérmicas son muy desfavorecidas ya que no hay energía que ayude a que ocurran. Para resolver esto los organismos que habitan estas regiones tienen enzimas (moléculas que actúan como catalizadores; esto es, facilitan reacciones que de otra manera serían desfavorables) que resultan ser eficientes a bajas temperaturas. Estas enzimas están modificadas, pues en ellas se desestabilizan los enlaces que permiten a las enzimas cumplir su función a bajas temperaturas.

Problemas con el DNA y RNA

Uno de los procesos que se limitan más con las bajas temperaturas es la síntesis de proteínas y su plegamiento.

Como se explica más detalladamente en el artículo de Cienciorama “Secuencias IRES: ¿reglas en la traducción?”, el primer paso de la síntesis de las proteínas se da en el núcleo de la célula, donde se copia la información de ADN a ARN. Este proceso se complica a bajas temperaturas por dos razones: los enlaces que mantienen unida a la doble cadena de ADN se estabilizan, haciendo más difícil abrir esta molécula para sintetizar el ARN; por otra parte las proteínas necesarias para la síntesis de ARN son difícilmente transportadas a donde se requieren debido al efecto ya mencionado de la difusión

Una vez sintetizados los ARN mensajeros, el problema de la difusión a bajas

temperaturas afecta el transporte de estas moléculas y de los factores involucrados en la traducción. Además de este problema, el ARN mensajero posee estructuras secundarias que al ser estabilizadas a bajas temperaturas, dificultan el proceso de traducción.

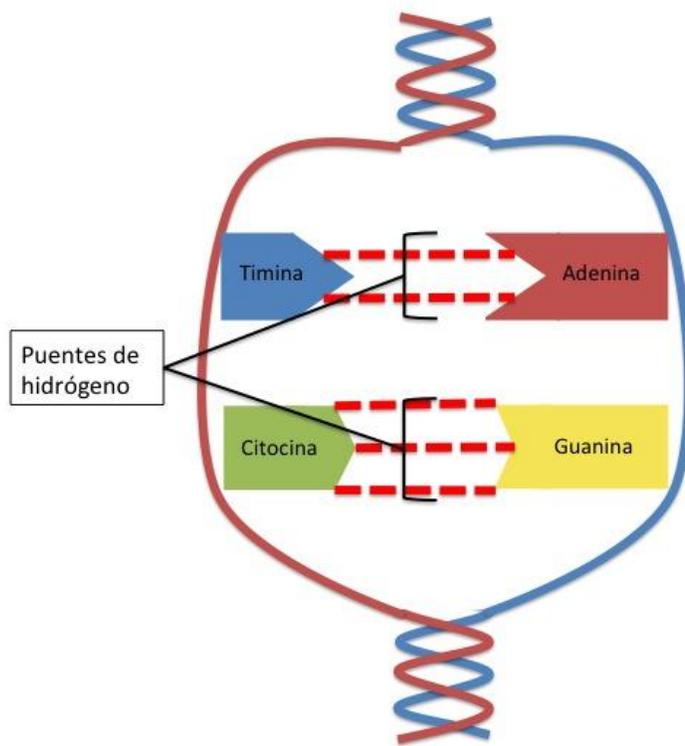


Figura 3. Diferencias entre los enlaces presentes entre las bases nitrogenadas.

Para lidiar con estos problemas se ha visto que el ADN de algunos organismos psicrófilos posee una alteración en la composición de dicha molécula. El ADN está formado por dos cadenas, cada una de las cuales tiene estructuras repetidas, con cuatro posibles formas (adenina, timina, citosina y guanina); las dos cadenas se mantienen unidas debido a que estas cuatro estructuras básicas forman parejas específicas, adenina con timina y citosina con guanina. Aunque las cuatro son muy similares, la pareja de adenina con timina es menos estable que la de citosina con

guanina (figura 3). Los psicrófilos aprovechan esto y en su genoma tienen una mayor cantidad de adenina y timina, lo cual hace que las cadenas se unan de manera menos estable, permitiendo que a pesar del frío, se puedan separar para realizar la transcripción.

Las enzimas involucradas en la transcripción y traducción poseen modificaciones en su estructura, lo cual les permite tener actividad a bajas temperaturas. Por otra parte los factores involucrados en estos procesos se encuentran repetidos en mayor cantidad en el genoma de estos organismos, permitiendo que a pesar de las limitaciones existan en cantidades y distribuciones óptimas.

Las proteínas

Una vez sintetizadas las proteínas, deben doblarse y generar proteínas funcionales, para ello deben pasar de un estado inicial casi lineal a una conformación final compleja (ver figura 4).

La estructura tridimensional final no es aleatoria, por el contrario, está muy bien cuidada y requiere de muchos procesos para llegar a ella. Nuevamente, muchos de estos procesos son modificados por las bajas temperaturas que dificultan el plegamiento de las proteínas.

Una de las fuerzas que guían la formación estructural de las proteínas es la polaridad de los aminoácidos que las forman. Normalmente los aminoácidos no polares tenderán a estar en el centro de la estructura evitando entrar en contacto con el agua que, como se mencionó, es una sustancia polar. A bajas temperaturas el agua pierde el efecto polar, lo cual puede causar que las proteínas no se doblen adecuadamente y que los grupos de aminoácidos no polares dejen de ubicarse en la parte central. Por otra parte, el plegamiento no ocurre de manera precisa, muchas

veces las proteínas se doblan incorrectamente y deben comenzar de nuevo. Este procedimiento es desfavorecido por la difusión limitada en el agua a temperaturas frías, y se vuelve muy lento. Esto es importante ya que pasado cierto tiempo, si una proteína no ha llegado a su configuración final, la célula la destruye para evitar que este tipo de proteínas se acumulen y puedan dañar a la célula.

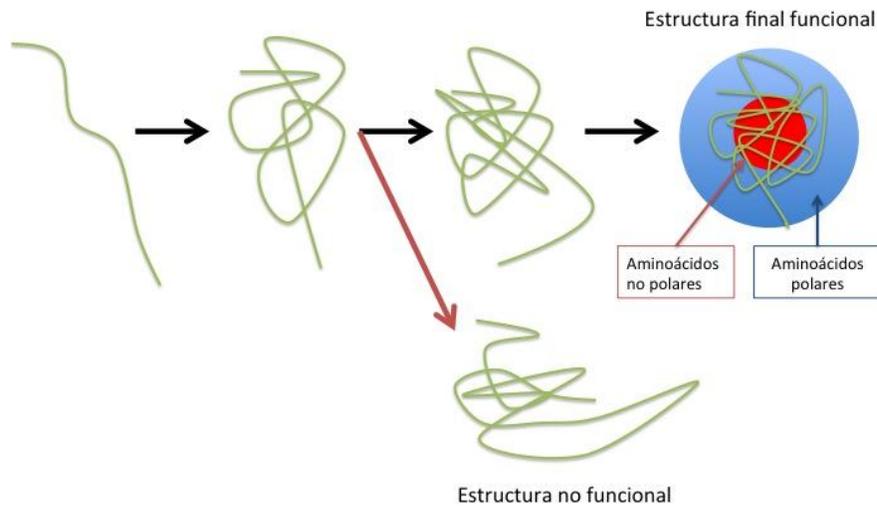


Figura 4. Esquema del plegamiento de una proteína, así como su estructura final.

Para lidiar con estos problemas, los organismos psicrófilos hacen uso de un mecanismo que existe en todos los organismos: las proteínas chaperonas. Este grupo de proteínas, como su nombre lo indica, acompañan a las que se están plegando y facilitan que se doblen correctamente. En los seres vivos que viven a bajas temperaturas se ha visto que muchos de ellos presentan una mayor cantidad de estas proteínas, lo cual podría facilitar el plegamiento.

Terra Australis

Así como los primeros exploradores de la Antártida que querían calcular el tamaño

de Terra Australis a partir de las pequeñas islas que iban descubriendo cada vez más al sur, el estudio de los mecanismos moleculares de los psicrófilos se basa en sólo unos cuantos ejemplos ya que a la fecha se han estudiado a detalle muy pocos de ellos. Muchas de las ideas que se tienen sobre sus mecanismos se han encontrado en sólo una especie, y se ha encontrado que dos especies de psicrófilos resuelven un mismo problema de maneras radicalmente distintas. Es importante recordar, al estudiar los mecanismos adaptativos de los extremófilos, que muchos de ellos deben lidiar con distintos factores extremos al mismo tiempo, y que varios ambientes pueden generar los mismos problemas en las células, lo cual complica un poco el estudio de sus estrategias para vivir en estos ambientes.

Posiblemente como ocurrió con el continente Terra Australis al obtener más datos sobre los extremófilos cambie lo que actualmente se conoce de ellos; sin embargo, los datos con los que contamos actualmente nos permiten apreciar la capacidad adaptativa de los seres vivos para sobrevivir en condiciones extremas, a veces utilizando mecanismos ya existentes, a veces teniendo que generar nuevas estrategias.

Bibliografía no especializada

1. Historia de la exploración antártica: <http://www.antarcticaonline.com/history/history.htm>
2. Psicrófilos: <http://lacienciaysusdemonios.com/2010/01/11/psicrofilos-amantes-del-frio/>
3. Transcripción del DNA y traducción del RNA: Reynosa E. Secuencias IRES: ¿reglas en la traducción? Cienciorama.
http://www.cienciorama.ccadet.unam.mx/articulos_extensos/270_extenso.pdf

Bibliografía especializada

1. Piette F., et. al. (2011) The protein folding challenge in psychrophiles: facts and current issues. Environmental Microbiology. 13: 1924-1933.

2. D'Amico, S., et. al. (2006) Psychophilic microorganisms: challenges for life. European Molecular Biology Organization Reports. 7: 385-389.