

ANDE YO CALIENTE Y RÍASE LA GENTE

Francisco M. Cazorla López

La temperatura es uno de los parámetros físicos más fascinantes desde el punto de vista biológico, ya que rige estrechamente la presencia o no de vida en los distintos hábitats. Este papel fundamental de la temperatura para la vida también ha sido aprovechado por los científicos, y fue Louis Pasteur quien en el siglo XIX observó que la alteración de los alimentos estaba asociada a la presencia de microorganismos, y descubrió que el tratamiento con calor podía ser usado para matar a aquellos microorganismos que deterioraban ciertos productos. Posteriormente, una serie de experimentos adicionales condujeron a este francés a determinar que las temperaturas del orden de 110°C destruían a todas las bacterias, negando así la entonces popular teoría de la generación espontánea. Pasteur también encontró que una hora a 120-125°C era suficiente para matar aquellas esporas fúngicas más recalcitrantes. De esta manera surgieron los estándares de la esterilización como producto de una de las mentes científicas más inquisitivas de la microbiología. Así, en los autoclaves actuales la combinación de presión y vapor hasta alcanzar temperaturas de 121°C, realizada tal y como Pasteur lo hacía hace más de 100 años, consigue matar las formas de vida más resistentes que se conocen.

Lo que Pasteur jamás podría haber predicho es que, más de un siglo después, se aislaría de una fuente hidrotermal submarina, la cepa 121 de la especie *Pyrodictium occultum*, un microorganismo perteneciente al grupo de las arqueas, y que parece decir aquello de “ande yo caliente y ríase la gente”, ya que no sólo podría crecer a temperaturas de 121°C, sino que puede sobrevivir incluso a temperaturas tan altas como 130°C, elevando así el récord de la máxima temperatura para el crecimiento y supervivencia de cualquier forma de vida [Kashefi y Lovley, *Science* **301**, 934 (2003)].

El área volcánica submarina desde donde se ha aislado la cepa 121 de *P. occultum* proporciona un hábitat natural para los microorganismos termófilos. Hay chimeneas de vapor con temperaturas que superan los 400°C, pero la vida microbiana necesita agua en estado líquido. A la presión atmosférica normal, la ebullición limita a 100°C la temperatura máxima de los ambientes acuáticos habitables. Sin embargo, la presión hidrostática del fondo oceánico eleva el punto de ebullición y se han obtenido valores de hasta 350°C en fuentes hidrotermales submarinas. Algunos organismos pueden vivir en fuentes termales superficiales con temperaturas hasta el punto de

ebullición, pero a medida que aumenta la temperatura, suele disminuir la diversidad. Las paredes de la chimenea, compuesta de metales sulfurosos ofrecen grandes y a veces escarpados gradientes de temperatura. La temperatura del interior de las columnas de agua puede llegar a ser superior a los 400°C, mientras que el agua marina exterior está a una media de 5°C, generándose en estas zonas un gradiente de temperatura de varios cientos de grados en pocas decenas de centímetros. Así, las plantas y animales quedan excluidos a temperaturas por encima de los 50°C, y los microorganismos eucariotas (protozoos, hongos y algas) a partir de los 60°C. Los procariotas fotosintéticos (cianobacterias y anoxifotobacterias) se excluyen por encima de los 90°C, pero las arqueas termófilas aumentan su diversidad entre 90°C y 100°C [Brock, *Science* **230**:132-138 (1985)].

Además, la investigación de la estabilidad de las moléculas frente a la temperatura ha evolucionado paralelamente al estudio en el campo de la termofilia, y parecía estar estancada en los últimos cinco años, dejando algunas preguntas fundamentales sin responder. Hasta que el trabajo llevado a cabo por Kashefi y Lovley [Kashefi y Lovley, *Science* **301**, 934 (2003)] disparó de nuevo el debate sobre los mecanismos que dictan la capacidad (o incapacidad) de un organismo para crecer a altas temperaturas. El análisis estructural de las proteínas de estos microbios indica que la estabilidad conformacional podría no ser el factor limitante, ya que se han caracterizado proteínas con una gran termoestabilidad, con valores de T_m por encima de 130°C [Adams, *Annu. Rev. Microbiol.* **47**:627-658 (1993)]. Por otro lado, estudios realizados hace 20 años mostraron que los aminoácidos naturales son razonablemente estables a nivel químico a temperaturas de alrededor de 150°C, pero se degradan en minutos e incluso segundos a 250°C [White, *Nature* **310**:430-432 (1984)]. De esta manera, la estabilidad conformacional de las proteínas y la inherente estabilidad química de sus constituyentes aminoacídicos sugiere que los hipertermófilos no presentarían sistemas que incrementan la actividad de la reparación estructural proteína a proteína o a su resíntesis, con el consecuente costo energético. Lo mismo podría aplicarse a otros constituyentes tales como coenzimas y metabolitos de bajo peso molecular [Cowan, *Trends in Microbiol.* **12**:58-59 (2004)].

Se ha sugerido que las moléculas pequeñas, no las macromoléculas, dictan el límite superior de temperatura para la vida. Esta visión está basada

en observaciones sobre intermediarios metabólicos clave, como los cofactores de nicotinamida, que son muy inestables a temperaturas tan bajas para un termófilo como 95°C. La cepa 121 podría constituir un buen modelo para el estudio de proteínas termoestables y el análisis de mecanismos putativos de la estabilización de cofactores (como la canalización molecular) o la propensión a depender de moléculas activas alternativas más estables, como las proteínas Fe-S en vez del cofactor nicotinamida.

La importancia de este hallazgo radica en que el límite superior de temperatura para la vida es un parámetro clave para delimitar dónde y cuándo pudo acontecer la vida en un planeta Tierra joven y muy caliente; también podría aclarar la

profundidad a la que la vida podría existir en las capas más profundas bajo la superficie de la Tierra; y por último, valorar el potencial para la vida en ambientes extraterrestres de altas temperaturas.

¿Y qué pasa con el límite superior para la vida en sí mismo? Parece improbable que el hallazgo de la cepa 121 sea el punto final de esta investigación. La mayoría de investigadores están de acuerdo en que el verdadero límite superior de temperatura para la vida se encontraría hipotéticamente donde se vuelva insostenible el límite energético impuesto por los sistemas de reparación molecular y la resíntesis de moléculas, y esto probablemente ocurre en la región de los 140-150°C. Pero, aun entonces...¿podría algún microorganismo decir aquello de “ande yo caliente”...?