

origen de los homínidos sería aún objeto de debate. Cabe destacar que los kenyapitecinos muestran aún un plan corporal pronógrado, distinto del plan ortógrado característico de *Pierolapithecus*, lo cual plantea no pocos interrogantes sobre la evolución del aparato locomotor de los hominoideos en su conjunto.

Los orígenes de la ortogradía

Los hominoideos actuales cuentan con un plan corporal ortógrado, distinto del plan pronógrado típico de los monos y otros mamíferos cuadrúpedos, lo cual se refleja en múltiples adaptaciones esqueléticas (situación dorsal de los omóplatos, tórax ancho y poco profundo, pelvis ancha, etcétera). En *Pierolapithecus*, la posición bastante dorsal de los procesos transversos de las vértebras lumbares (pequeñas protuberancias óseas para la inserción de músculos y ligamentos), así como la marcada curvatura de las costillas, indican que el tórax era ancho y poco profundo, como en los hominoideos actuales. Ello encaja con el hecho de que el cúbito y los huesos de la muñeca no se articulaban entre sí, a diferencia de los monos cuadrúpedos, en los cuales el antebrazo tiene dos articulaciones con la muñeca. La pérdida de esta doble articulación en los hominoideos, documentada por primera vez en *Pierolapithecus*, se relaciona con la mayor capacidad de desviar la mano cuando trepan verticalmente. Todo ello indica que *Pierolapithecus*, como los hominoideos actuales, presentaba ya un plan corporal ortógrado, como cabría esperar dada su morfología craneal de tipo homínido.

Durante mucho tiempo, se pensó que los hilobátidos y los homínidos actuales habían heredado el plan corporal ortógrado a partir de un ancestro común, en el cual estos rasgos habrían evolucionado como adaptaciones para trepar y suspenderse. Sin embargo, *Pierolapithecus* carece de las adaptaciones suspensoras características de los hominoideos actuales (falanges de la mano largas y curvadas) y presenta, además, adaptaciones a la locomoción cuadrúpeda sobre las ramas, asemejándose así a los kenyapitecinos y los hominoideos basales. Ello indica que, en los homínidos, la ortogradía evolucionó en un principio para llevar a cabo comportamientos ortógrados no suspensoros (como trepar verticalmente), y que solo más tarde se reaprovechó, en varios linajes de grandes antropomorfos, para la suspensión (o, en el caso de los humanos, para el bipedismo). Además, el mosaico de características locomotoras en *Pierolapithecus* también implica que los comportamientos suspensoros evolucionaron de modo independiente en los hilobátidos y los homínidos, y abre la puerta a la posibilidad de que tales comportamientos también evolucionasen por separado en los ponginos, los homínidos y los driopitecinos.

El origen independiente de la suspensión en diversos linajes de hominoideos no debería sorprendernos, puesto que los monos araña sudamericanos también han desarrollado adaptaciones suspensoras. Sin embargo, esta hipótesis implica un cambio de paradigma muy importante: si la suspensión surgió por evolución varias veces en distintos linajes debido a presio-

nes selectivas similares, a la posesión de un mismo patrón ortógrado ancestral o a ambas razones, ¿qué otras características compartidas por hilobátidos y homínidos podrían haber evolucionado también de modo independiente? En otras palabras, ¿es la ortogradía homóloga en los hilobátidos y los homínidos (es decir, tiene un origen común), o ambos grupos se originaron a partir de distintos ancestros pronógrados?

Diez años tras su descubrimiento, el esqueleto de Pau ha desmentido el paradigma de que la suspensión apareció solo una vez durante la evolución de los hominoideos. Y si ello es posible, también lo es que la ortogradía en su conjunto se hubiese originado de modo independiente en los hilobátidos, los ponginos y los homínidos. Según esta hipótesis, así como los driopitecinos y los ponginos se originaron en Eurasia a partir de ancestros pronógrados kenyapitecinos de origen africano, los homínidos podrían haberse originado a partir de otros kenyapitecinos pronógrados que se quedaron en África. Solo el registro fósil podrá proporcionarnos, en el futuro, nuevas pistas para tratar de resolver esta cuestión. Esperemos que nuevos descubrimientos en el vertedero de Can Mata contribuyan a arrojar aún más luz sobre la evolución de nuestros parientes más cercanos, los simios antropomorfos.

—David M. Alba

—Salvador Moyà-Solà

*Instituto Catalán de Paleontología
Miquel Crusafont, Barcelona*

MATERIALES

Moléculas que enfrían

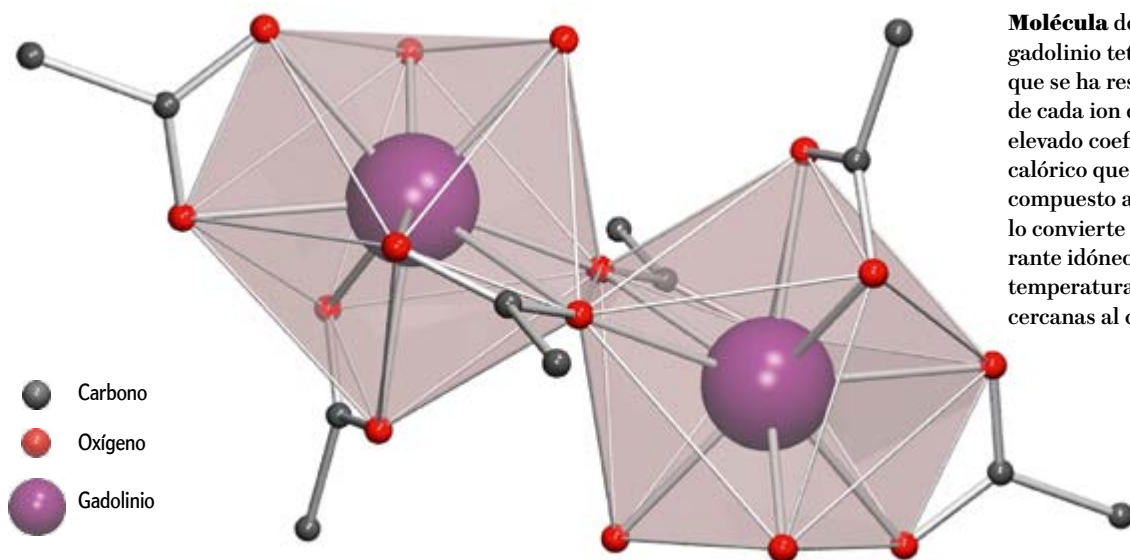
Nuevos materiales magnéticos de base molecular prometen avances en las aplicaciones criogénicas

Una característica peculiar de los materiales magnéticos reside en que su temperatura puede variar como respuesta a la aplicación de un campo magnético externo. Este fenómeno, conocido como el efecto magnetocalórico (EMC), fue observado por primera vez en 1881 en el hierro metálico. Medio siglo más tarde, William F. Giauque logró alcanzar temperaturas cercanas al cero absoluto gracias al EMC de ciertas sales paramagnéticas, un resultado que en 1949 fue recompensado con el premio Nobel de Química.

Si bien todos los materiales magnéticos muestran EMC, solo algunos de ellos responden con los cambios de temperatura requeridos para las aplicaciones criogénicas. En general, la clave reside en encontrar el refrigerante óptimo para cada régimen de temperaturas. En una investigación reciente llevada a cabo por nuestro grupo y colaboradores de las universidades de Málaga y Edimburgo, hemos identificado un nuevo material magnético de base molecular que permite alcanzar temperaturas cercanas al cero absoluto con un EMC mucho mayor que

el de las sustancias empleadas hasta ahora. El resultado ofrece nuevas posibilidades en el campo de la criogenia.

Al someter un material magnético a la acción de un campo externo, los pequeños dipolos que lo componen tienden a alinearse en la dirección del campo. En consecuencia, disminuye la contribución magnética a la entropía total del sistema. Si dicho proceso tiene lugar en condiciones adiabáticas (sin intercambio de calor con el entorno y, por tanto, sin variaciones en la entropía total), la reducción de la entropía magnética deberá verse compensa-



Molécula de acetato de gadolinio tetrahidrato, en la que se ha resaltado el entorno de cada ion de gadolinio. El elevado coeficiente magnetocalórico que exhibe este compuesto a nivel molecular lo convierte en un refrigerante idóneo para alcanzar temperaturas locales cercanas al cero absoluto.

da por un aumento de temperatura. En el proceso inverso, el material se enfría cuando se reduce la intensidad del campo magnético aplicado. Estos fenómenos permiten diseñar un ciclo termodinámico cuyo efecto neto es la refrigeración del material [véase «Refrigeración respetuosa con el ambiente», por Lluís Mañosa y Antoni Planes; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, febrero de 2011]. Aunque la desimánación adiabática fue el primer método que permitió alcanzar temperaturas del orden del milikelvin, el desarrollo durante los años setenta y ochenta de los refrigeradores basados en una dilución de ^3He y ^4He , que podían trabajar en ciclo continuo, provocó que la técnica cayese en desuso.

En los últimos años, sin embargo, la escasez de ^3He y las aplicaciones espaciales han reavivado el interés por la refrigeración magnética. La técnica resulta aplicable en ausencia de gravedad, por lo que ha sido considerada para enfriar los sensores de algunas misiones espaciales, como el observatorio Herschel, de la ESA, o los del telescopio de rayos X Astro-H, proyectado por la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial. Los estrictos límites de peso y volumen a los que se enfrentan las misiones espaciales invitan a investigar nuevas fórmulas para reducir el tamaño de estos dispositivos. Esto puede conseguirse disminuyendo la cantidad de refrigerante o la intensidad máxima del campo magnético. Una tercera posibilidad consiste en la refrigeración «en chip», en la que se enfría únicamente el sensor.

Magnetismo molecular

Ese objetivo puede alcanzarse gracias al magnetismo molecular. Durante las dos

últimas décadas se han realizado grandes avances en la investigación de moléculas magnéticas, caracterizadas por poseer un momento magnético único y bien definido a nivel molecular. Se trata de sustancias solubles en disolventes comunes y cuyo carácter modular, que puede diseñarse durante la síntesis, abre numerosas perspectivas para «sintonizar» sus propiedades magnéticas.

Los átomos responsables del efecto magnetocalórico en dichas moléculas interactúan entre sí mediante enlaces químicos que modulan la magnitud del fenómeno. A bajas temperaturas, esas interacciones dan como resultado un espín molecular neto S , cuya relación con el EMC queda determinada por la máxima variación de la entropía magnética, proporcional a $\ln(2S + 1)$. Esta circunstancia nos lleva a considerar interacciones ferromagnéticas, ya que entonces los espines atómicos se alinearán en un mismo sentido y el espín molecular resultante será máximo.

Además de un gran espín molecular, lograr un EMC elevado requiere que la anisotropía magnética sea relativamente pequeña. Ello se debe a los efectos que provoca el campo cristalino generado en el entorno de cada uno de los átomos magnéticos de la molécula, el cual establece una dirección preferente para el espín molecular. Si la anisotropía es acusada, la polarización de los espines moleculares resultará menos sensible a las variaciones del campo magnético externo; en consecuencia, para obtener un mismo EMC será necesario aplicar un campo magnético de mayor intensidad.

Nuestro trabajo, publicado en junio de 2011 en la edición internacional de *An-*

gewandte Chemie, ha permitido diseñar y sintetizar nuevas moléculas con un EMC muy elevado; mucho mayor que el de las aleaciones y nanopartículas magnéticas empleadas hasta ahora como refrigerantes de baja temperatura. Tal es el caso del acetato de gadolinio tetrahidrato, un material molecular de estructura simple. Los experimentos a bajas temperaturas realizados en nuestro laboratorio y el estudio teórico de sus propiedades han demostrado que dicho material posee un EMC extraordinariamente elevado incluso para pequeñas variaciones del campo magnético externo. Su novedad más destacable reside en el uso de ligandos químicos muy ligeros que, además, generan interacciones ferromagnéticas en el interior de cada molécula.

Los avances descritos permitirán el desarrollo de microrrefrigeradores integrados en el propio chip. Para ello, el refrigerante debe anclarse al microcircuito en forma de depósitos delgados o monocapas que preserven sus propiedades magnéticas; un objetivo que resulta factible con los nuevos materiales debido a su carácter molecular. Tales dispositivos mesoscópicos podrán utilizarse como plataformas refrigerantes en toda clase de instrumentos que necesiten operar a muy bajas temperaturas, como los detectores de rayos X y gamma en astronomía, ciencia de materiales o instrumentación de seguridad.

—Marco Evangelisti

—Agustín Camón

—Olivier Roubeau

Instituto de Ciencias de Materiales de Aragón, CSIC y Universidad de Zaragoza