



Superconductividad a temperatura ambiente: un debate actual entre científicos

En 2020, un grupo de investigadores de la Universidad de Rochester en Nueva York, encabezado por el físico Ranga Dias, informó haber fabricado un compuesto que se comporta como superconductor a 15 grados centígrados. Se trata de una mezcla de carbono, hidrógeno y sulfuro con un tratamiento especial, sometido a una presión muy alta (2,6 millones de veces la presión atmosférica). Los datos resultaron tan contundentes que fueron publicados en la revista *Nature*, la más prestigiosa revista científica internacional en el área de ciencias naturales. Sin embargo, otros científicos notaron una sutileza que ponía en duda la interpretación de los datos, por lo que en 2022 la revista retractó el artículo. ¿Qué mostraban estos experimentos y por qué su interpretación fue puesta en duda?

Para eso debemos saber qué es un superconductor. Cuando pensamos en la temperatura de un cuerpo, generalmente la asociamos con su capacidad para transferir calor. Sin embargo, para los físicos la temperatura está además esencialmente relacionada con el desorden, lo que se formaliza mediante la noción de entropía. La tendencia a maximizar la entropía compite con la de minimizar la energía. Por lo general, la primera gana a temperaturas altas, lo que explica por qué los compuestos a temperatura ambiente suelen presentarse en fases desordenadas. Sin embargo, al disminuir la temperatura, aparecen fases mucho más exóticas con propiedades fascinantes, una

de las cuales es la fase superconductora. En esta fase, los electrones del material se combinan en pares y condensan en un estado cuántico macroscópico de muy baja energía. Esta energía es tan conveniente que los pares de Cooper, como se llaman los pares de electrones en honor a uno de los científicos que explicaron la superconductividad convencional hace casi setenta años, pueden moverse libremente sin chocar y, por lo tanto, sin entregar energía en el choque. Esto los convierte en conductores perfectos, capaces de transportar carga eléctrica sin disipación. Esta propiedad es extremadamente útil para aplicaciones, ya que corrientes mucho mayores que las típicas transportadas por los conductores metálicos pueden usarse para generar campos magnéticos altos o para instalaciones de distribución de alto amperaje. Los superconductores se utilizan hoy en día para generar campos de resonadores y tomógrafos, entre otras aplicaciones. Además, la fase superconductora presenta fenómenos aún más sorprendentes asociados con su comportamiento magnético, derivados del hecho de que es una fase cuántica. Esto hace que estos materiales sean muy útiles para dispositivos, como las juntas con base en superconductores que son uno de los principales candidatos para el área de computación cuántica.

Está claro que el mayor inconveniente para el uso práctico de esos materiales es justamente que solo son

superconductores a temperaturas muy bajas. Para alcanzarlas se debe recurrir a un líquido cuya temperatura de ebullición sea muy baja y actúe como una fuente fría mientras se evapora. El líquido criogénico por excelencia es el helio, cuya temperatura de ebullición a presión atmosférica está en 4,2 grados por encima del cero absoluto, o sea, unos 270 grados centígrados bajo cero. Lamentablemente el helio es muy caro y su extracción muy dificultosa, lo que ha limitado el uso tecnológico de los superconductores. En las últimas décadas se descubrieron materiales que, enfriados a temperaturas como las del nitrógeno líquido, que ebulle a 200 grados bajo cero y se extrae del aire, son superconductores. Así y todo, mantener refrigerados cables y dispositivos a 200 grados bajo cero es una limitación importante, por lo que los científicos siguen buscando materiales que se vuelvan superconductores a temperaturas más y más altas. La esperanza es lograr un superconductor a temperatura ambiente.

Los intentos más 'exitosos' han llegado por el lado de las altas presiones. Si se somete un compuesto a presiones muy altas, aumentan las interacciones, por lo que la energía gana en importancia frente a la entropía y se logran fases exóticas como la superconductora a temperaturas relativamente altas. Las comillas en la palabra 'exitosos' se deben a que la tecnología para lograr esas presiones es por lo general aún más sofisticada que la necesaria para enfriar. De todas formas, estos

hallazgos despiertan un gran interés y abren una esperanza de estar en el buen camino para encontrar el material que revolucione la tecnología superconductor.

Cuando un compuesto superconductor pasa a la fase superconductora, su resistividad se anula. En los superconductores conocidos como de tipo I (en general, metales puros que se vuelven superconductores a temperaturas muy bajas, apenas unos pocos grados por encima del cero absoluto), el campo magnético es completamente expulsado del material, por lo que son diamagnéticos perfectos. Este fenómeno, conocido como efecto Meissner, implica que, si un superconductor está en un campo magnético, al transicionar, este es expulsado del material. Como esto cuesta una energía magnética adicional, cuanto mayor es el campo, más baja es la temperatura de transición.

Ranga Dias y colaboradores mostraron una abrupta caída de la resistencia, acompañada por una señal en la susceptibilidad magnética alterna. Cuanto mayor es el campo magnético aplicado, más baja es la temperatura de transición superconductora. Los autores adjudicaron el salto en la susceptibilidad al apantallamiento del campo

magnético y resaltaron lo angosto de las transiciones resistivas (en menos de un grado las muestras aparentemente se vuelven completamente superconductoras), como indicativo de una extraordinaria homogeneidad.

En la figura se reproducen los datos mostrados en el trabajo de Ranga Dias y colaboradores, tal cual aparecen actualmente en el artículo retractado de *Nature*. En (a) se observa el salto en la susceptibilidad alterna para tres valores de campo, mientras que en (b) se muestran transiciones resistivas a varios campos. Los autores asocian esta dependencia a la relación entre el campo crítico superconductor y la temperatura crítica T_c , y comparan sus datos con modelos conocidos.

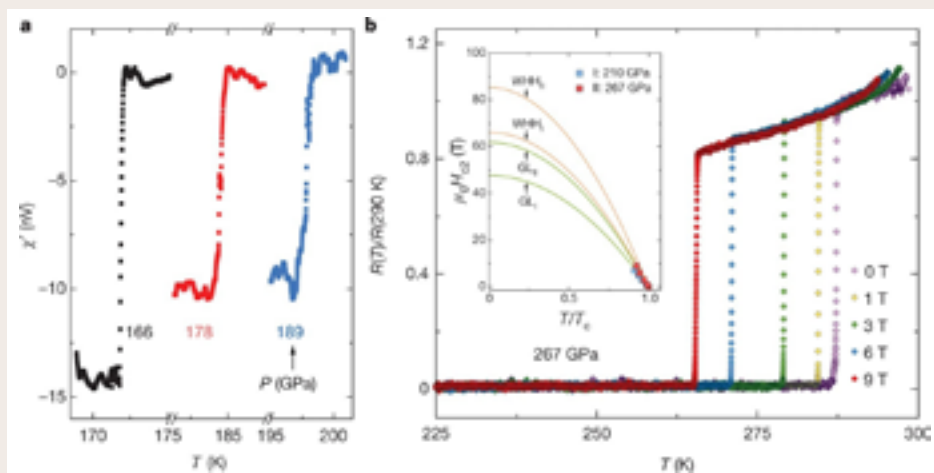
Ahora bien, es importante señalar que estos compuestos no son de tipo I, sino de tipo II. En los superconductores de tipo II (aleaciones, óxidos y la mayoría de los superconductores no convencionales), el campo magnético no es completamente expulsado, sino que penetra parcialmente en el material en forma de tubos que llevan exactamente un cuanto de flujo magnético, y se conocen como 'vórtices'. Cada vórtice está localizado en una región nanométrica (un radio mucho menor que

una milésima de milímetro), por lo que el arreglo de vórtices solo puede verse con técnicas sofisticadas. Sin embargo, con medidas eléctricas o magnéticas se pueden detectar sus efectos: por ejemplo, los materiales dejan de ser diamagnéticos perfectos. Además, si logramos mover los vórtices con corrientes, van a disipar energía. Esto hace que la transición resistiva en los superconductores de tipo II en presencia de campo magnético no sea abrupta, sino que se vuelve más ancha cuanto mayor es el campo magnético aplicado. Los autores del artículo hacen un cálculo a través del cual muestran que, si bien el material que sintetizaron sería de tipo II, podría estar muy cerca de un tipo I y, por lo tanto, tener un comportamiento similar.

El físico argentino Jorge Hirsch y su colega Frank Marsiglio publicaron una crítica en la misma revista en la que mostraron que el cálculo presentado en el artículo original era erróneo y que, por lo tanto, los compuestos deberían tener un comportamiento característico de superconductores de tipo II. Además, argumentaron que lo angosto de las transiciones es inusual y que el hecho de que no se observe ensanchamiento bajo campos magnéticos de esa magnitud es incompatible con lo esperado físicamente. Argumentan que la abrupta caída en la resistencia podría deberse simplemente a la formación de caminos metálicos percolativos (esto es, que atraviesen la muestra de lado a lado). Para respaldar su argumento, compararon el ensanchamiento de la transición resistiva en otros materiales con lo reportado en el estudio.

Otra crítica que se ha planteado al artículo es que el procedimiento utilizado por los autores para restar el ruido no fue lo suficientemente claro, lo que podría dar lugar a cuestionamientos adicionales sobre los resultados obtenidos.

La explicación propuesta por Jorge Hirsch y Frank Marsiglio para explicar el salto abrupto en la resistencia es plausible, y también consistente con la



Datos mostrados en el trabajo de Ranga Dias y colaboradores, tal cual aparecen actualmente en el artículo retractado de *Nature*. En (a) se observa el salto en la susceptibilidad alterna χ para tres valores de campo, mientras que en (b) se muestran transiciones resistivas a varios campos. Los autores asocian esta dependencia a la relación entre el campo crítico superconductor y la temperatura T , y comparan sus datos con modelos conocidos.

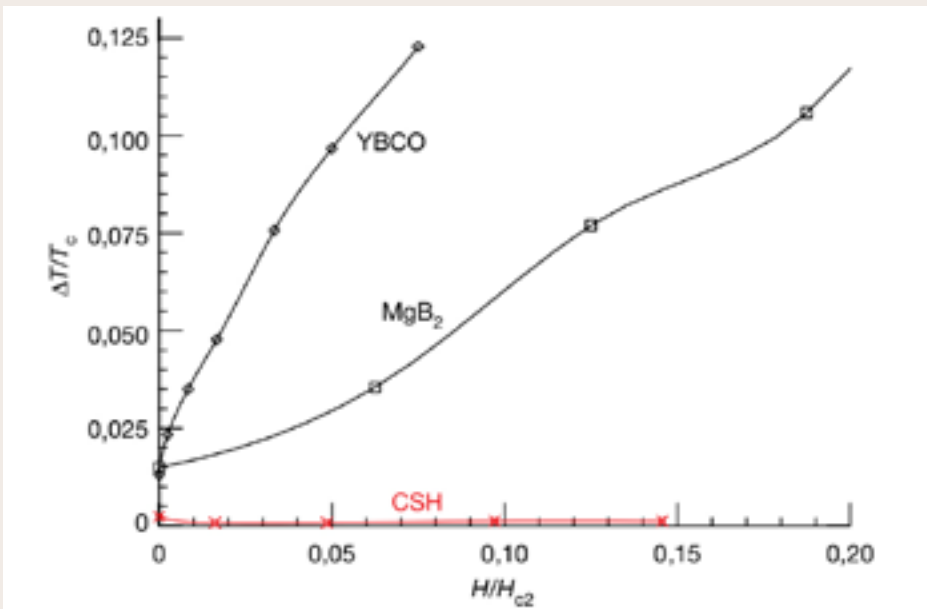


Figura publicada por Jorge Hirsch y Frank Marsiglio, donde comparan el ensanchamiento relativo de la transición resistiva en dos superconductores típicos tipo II (puntos negros) con el informado en el artículo cuestionado (datos en rojo).

señal observada en la susceptibilidad alterna, que en ese caso estaría asociada al apantallamiento del campo alterno por corrientes superficiales inducidas en el conductor. Por otro lado, es cierto que la dependencia de la transición con el campo magnético aplica-

do es un punto que hasta el momento no tiene una explicación alternativa, y es un argumento a favor de la hipótesis original de que se ha observado superconductividad en estas muestras.

Tan candente es el debate en la comunidad, que en la reunión de 2023 del

March Meeting (una conferencia anual que reúne a miles de físicos), los agentes de seguridad tuvieron que intervenir para evitar que siguiera entrando público a la charla de Ranga Dias 15 minutos antes de que empezara. En esa conferencia se anunciaron nuevos experimentos, cuyos resultados respaldarían el hallazgo de superconductividad a temperatura ambiente, que fueron publicados en *Nature* ¡esa misma semana! El final de la historia está abierto. **CH**

Gabriela Pasquini
pasquini@df.uba.ar

Más información en el artículo retractado: **SNIDE E, DASENBROCK-GAMMON N, MCBRIDE R, DEBESAI M, VINDANA H, VENCATASAMY K, LAWLER KV, SALAMATA & DIAS RP**, 2020, 'Room-temperature superconductivity in a carbonaceous sulfur hydride', *Nature*, 586, 373. Artículo que lo cuestionó: **HIRSCH JE & MARSIGLIO F**, 2021, 'Unusual width of the superconducting transition in a hydride', *Nature*, 596, E9. **WOOD C & SAVITSKY Z**, 2023, Room-Temperature Superconductor Discovery Meets With Resistance, *Quanta magazine*, www.quantamagazine.org/room-temperature-superconductor-discovery-meets-with-resistance-20230308/



MELANINA

En aves rapaces es común que juveniles y adultos tengan plumajes diferentes. En el caso del gavilán mixto, el adulto es 'negruzco, con tapadas y piernas rufas' y el juvenil 'ocre, estriado' (según las descripciones de nuestro propio amigo Tito Narosky en su libro de identificación de aves argentinas). La melanina es el pigmento oscuro que tiñe las plumas de negro.

Irene Negri
irenitannegri@gmail.com