

SUPERCONDUCTORES MÁS ALLÁ DEL 1-2-3

En *Scientific American*¹ del mes de agosto de 1990, Robert J. Cava comenta que hace más de una década Bernard Raveau y su equipo de trabajo de la Universidad de Caen, en Francia, empezaron a sintetizar una serie de compuestos cerámicos que contenían lantano, bario, cobre y oxígeno.

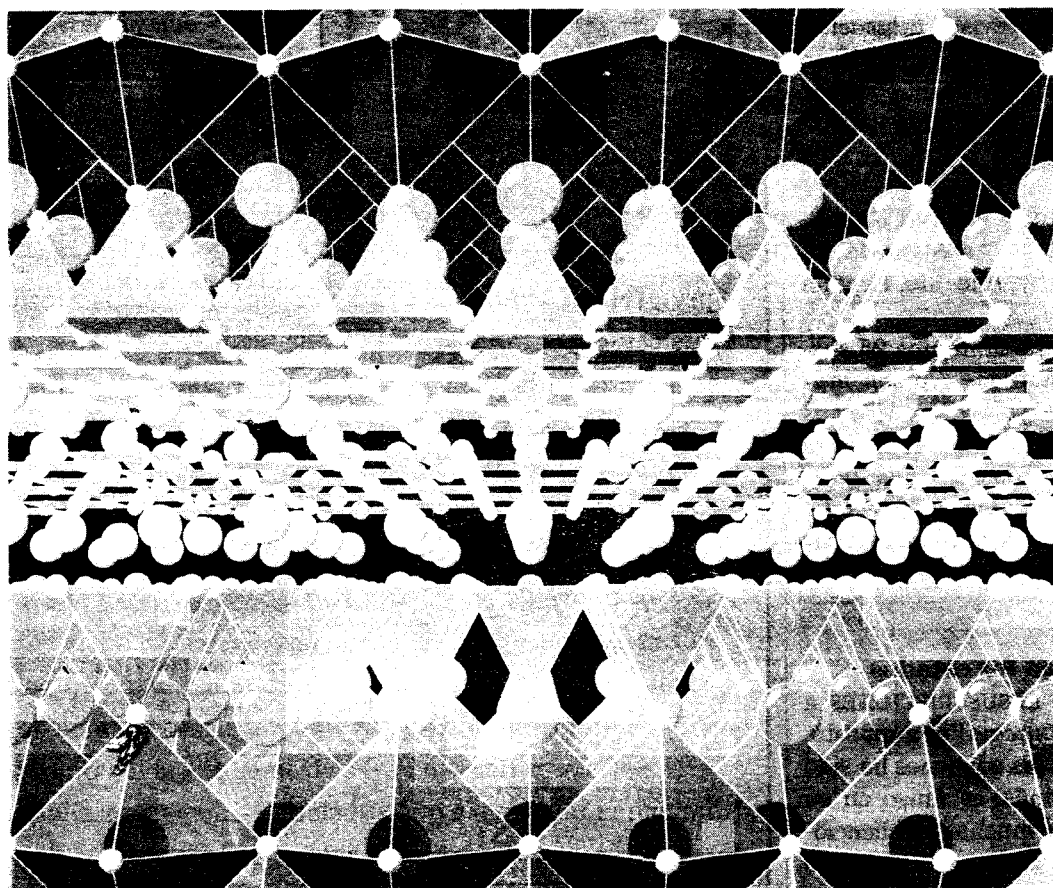
Estos materiales se mantuvieron en relativa obscuridad por muchos años, hasta que en 1986 los físicos K. Alex Müller y J. Georg Bednorz —de IBM, en Zúrich— se dieron cuenta de que, a temperaturas relativamente altas, no ofrecían resistencia al paso de corriente eléctrica, es decir, eran superconductores. Tal descubrimiento fue la clave para el desarrollo de una nueva clase de superconductores de alta temperatura, con lo que comenzó una de las más sorprendentes revoluciones en la fisicoquímica del estado sólido.

1. Superconductors beyond 1-2-3. "El óxido de ytrio 1 bario 2 cobre 3 es solamente uno entre muchos nuevos superconductores de alta temperatura de transición. Todos tienen planos de átomos de oxígeno y cobre que proporcionan caminos perfectos para el paso de los electrones."

Los óxidos de lantano, bario y cobre son malos conductores de la electricidad a temperatura ambiente; pero cuando Bednorz y Müller combinaron lantano, bario y cobre en determinadas proporciones, crearon una cerámica que era un buen conductor de la corriente eléctrica a temperatura ambiente y superconductor a 28 Kelvin.

La teoría química del estado sólido guía actualmente a los investigadores para elegir los elementos que, al combinarse, tal vez formen nuevos compuestos superconductores. El truco consiste en el empleo de la química, la intuición y la suerte para obtener la combinación adecuada de elementos que proporcione una temperatura de transición mayor. Por ejemplo, en febrero de 1987, Maw-Kuen Wu y Ching-Wu Chu de las universidades de Alabama y Houston, respectivamente, sustituyeron lantano por ytrio en el compuesto sintetizado por Bednorz y Müller, para formar un compuesto superconductor cuya temperatura de transición fue de 90 Kelvin.

Poco después de tal descubrimiento, R. Bruce van Dover, Bertarm Batlogg y Robert J. Cava, de los laboratorios AT&T Bell, determinaron químicamente la composición del superconductor que ahora es conocido como 1-2-3. Se llama así por la relación que existe entre



el número de átomos de ytrio con respecto a bario y cobre. El compuesto 1-2-3 fue el primer superconductor con una temperatura de transición superior a 77 Kelvin. Alcanzar esta temperatura resulta fácil y a un bajo costo mediante el empleo de nitrógeno líquido, en lugar del helio líquido que debe utilizarse para los superconductores tradicionales. Durante los últimos años, miles de investigadores en todo el mundo han producido docenas de superconductores de este tipo. El récord de temperatura de transición es de 125 Kelvin, para un compuesto con talio, bario, calcio, cobre y oxígeno.

Lo más importante en un cristal de un material superconductor cerámico de alta temperatura es que contiene planos de átomos de cobre y oxígeno. Estos planos proveen de caminos perfectos para que los electrones se trasladen; el resto de los elementos estructurales del cristal pueden elegirse o arreglarse de tal manera que la temperatura de transición aumente o disminuya. Cuando se aplica una diferencia de potencial a uno de estos materiales a temperatura ambiente, los electrones comienzan a moverse y en el proceso pierden energía, generándose también una resistencia al flujo de la corriente eléctrica. Por el contrario, si se enfría el material a temperaturas por debajo de la de transición, la resistencia eléctrica y la pérdida de energía desaparecen.

Muchos óxidos de cobre son buenos conductores, porque contienen electrones que poseen libre movimiento entre los átomos. Sin embargo, en este tipo nuevo de cerámicas los electrones se encuentran deslocalizados debido a una inusual interacción entre el cobre y el oxígeno. Si el cobre y el oxígeno son combinados con otros elementos en el cristal, el delicado balance de energía puede alterarse, ya que una parte de los electrones de cobre y oxígeno pueden completar sus capas externas. La valencia del cobre en estos materiales depende de las interacciones con el oxígeno y los otros elementos. Cuando el número de oxidación del cobre es 2+, los electrones se encuentran localizados en el enlace entre el cobre y el oxígeno. En algunos casos, cuando se añade un oxidante como lantano o bario, el cobre puede ceder más de dos electrones, adquiriendo un número de oxidación de 3+. En otras ocasiones, la adición de un reductor al material conduce a los átomos de cobre a disminuir su número de oxidación a 1+. En ambos casos (1+ ó 3+), los electrones se encuentran deslocalizados y pueden participar en la conducción de la corriente eléctrica.

Recientemente se han descubierto otros óxidos de cobre superconductores que poseen una estructura más compleja que sus predecesores, pero que conservan los planos electrónicamente activos de cobre y oxígeno. Quizás éste y otros argumentos proporcionen ahora nuevas rutas para el descubrimiento de nuevos superconductores de alta temperatura. El tiempo lo dirá.

Juan Carlos Morales.

ALGO ASÍ COMO UN CAOS ORDENADO

Todo mundo esperaría que el estudio del caos fuera infructuoso y acompañado de frustración. Stu Borman escribe en el *Chemical and Engineering News* del 21 de enero de 1991 que no es el caso. En ciertos procesos caóticos, los investigadores se han sorprendido al encontrar orden, estructura y belleza en el análisis de ciertos fenómenos no lineales de química, física y matemáticas.

El caos es difícil de definir. Un sistema caótico actúa irregularmente, pero su comportamiento es realmente determinista, pues es posible explicarlo con la solución de un sistema de ecuaciones diferenciales que es muy sensible a las condiciones iniciales. El descubrimiento en 1960 del caos determinista introdujo un nuevo cambio en la filosofía científica. Hasta entonces se creía que podía preverse certeramente la evolución de un sistema no cuántico. No obstante, como el conocimiento preciso de las condiciones iniciales para un sistema caótico no es enteramente accesible, tampoco lo es su desarrollo. Se dice que la teoría del caos, al igual que el principio de incertidumbre de Heisenberg, señalan límites sobre lo cognoscible.

Desde un punto de vista histórico, la teoría del caos se remonta a los trabajos de Jules-Henri Poincaré (1854-1902), matemático francés que primero notó este posible comportamiento. El tema empezó a despegar cuando en 1963 Edward N. Lorenz descubrió caos determinista en un modelo climático atmosférico relativamente simple.

El caos en química se descubrió en una reacción oscilatoria en 1977, aunque antes se había informado de otras reacciones químicas en las que se desprendía un gas o había un cambio de color que seguía un patrón de naturaleza periódica. Un ejemplo de ello es el informe del soviético Belousov en 1951 sobre cambios periódicos de color en la oxidación de ácido cítrico catalizada por bromato. Belousov publicó sus resultados hasta 1959, los que fueron interpretados por otro soviético, Zhabotinsky, en los años sesenta. Finalmente, en 1972, la reacción oscilatoria podía explicarse con todo y su mecanismo de reacción. Esa misma reacción química mostró por primera vez un comportamiento caótico hasta 1977, en el laboratorio de los americanos Schmitz, Graziani y Hudson.

La reacción periódica de Belousov-Zhabotinsky se vuelve caótica en cuanto se lleva a cabo en un reactor continuo de tanque agitado, en el que los reactivos se alimentan continuamente, lo que provoca que en el reactor se presente una dinámica no lineal. No se sabe si lo que ocurre se debe a una mezcla incompleta de los reactivos o a la complicada cinética de la reacción homogénea.

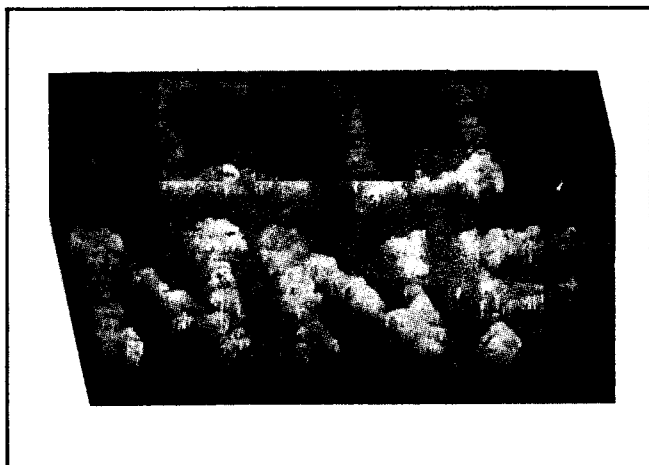
Actualmente muy diversos grupos se dedican a entender el comportamiento de estos sistemas caóticos, no sólo en química sino en otras ciencias. La teoría de

fractales (espere el lector la aparición en esta revista de un artículo sobre el tema), objetos *auto-similares* cuando se observan sobre diferentes escalas, se aplica exitosamente al estudio del caos.

Como conclusión, que nadie se desespere porque en el laboratorio algo se comporta irregular e impredeciblemente. Lector, puede estar cerca de la frontera de la ciencia, ¡no tire el contenido del matraz al caño!

*

LA LETRA MÁS CHIQUITA



"CU", por Cornell University y "NNF" por National Nanofabrication Facility.

Las letras que el lector puede ver en la figura superior tienen 400 nanómetros de altura. Se ha establecido un nuevo récord de microescritura gracias a la técnica de microscopía por emisión electrónica balística (BEEM son sus siglas en inglés). Se trata de bombardear con un haz finísimo de electrones una superficie metálica sobrepuesta a un semiconductor. El *Applied Physics Letters* del 24 de diciembre de 1990 muestra resultados como el de la figura, alcanzados por el grupo de Hallen en la Universidad de Cornell. Han logrado trazar líneas con un ancho de 8.5 picómetros (unas diez mil veces más delgadas que un pelo humano).

*

LOS SUDORES DEL 90 Y EL EFECTO INVERNADERO

El calentamiento de la Tierra durante las últimas dos décadas llegó nuevamente a un extremo durante 1990. La temperatura promedio global de la superficie el año anterior fue la mayor en más de una centuria de mediciones climáticas. Seis de los siete años terrestres más calientes han ocurrido a partir de 1980.

Durante 1990, la temperatura media se elevó 0.45 grados por encima de la promediada en los 30 años entre

1951 y 1980. Lo curioso es que el año pasado no se presentó un fenómeno climático tropical conocido como El Niño, al que se habían atribuido las elevaciones posteriores a 1980.

James K. Angell, investigador de la National Oceanic and Atmospheric Administration de Estados Unidos, indica que por mediciones con globos se ha demostrado que el calentamiento se ha dado también en la tropósfera, por lo que se manifestó escéptico a que sea debido al efecto de invernadero que produce la elevación de la concentración de dióxido de carbono. Todos los modelos conocidos del efecto invernadero marcan que la alta atmósfera debe enfriarse conforme la baja se calienta. ¿No es entonces culpable del calentamiento el constantemente acusado CO₂ atmosférico?

Angell termina diciendo que sus modelos climatológicos predicen un máximo de calentamiento hacia la mitad de esta década. Ni modo, si tiene razón habrá que seguir sudando.

*

EL CINTURÓN MOLECULAR FÉRRICO

En los laboratorios del MIT en Cambridge se ha sintetizado y caracterizado una bella molécula con cerca de 200 átomos y una curiosa apariencia circular (ver figura inferior, en la que se han eliminado los hidrógenos). Un estudiante de doctorado, Kingsley L. Taft se topó azarosamente con esta molécula mientras trabajaba en complejos de hierro con ligantes oxigenados.

Los estudios de rayos X revelaron una molécula circular con diez átomos de hierro ligados por puentes moleculares de átomos de carbono, oxígeno e hidrógeno. Los átomos de cloro del ligante quedan todos en la parte externa del cinturón de esta molécula, reportada en el *Journal of the American Chemical Society* del 19 de diciembre de 1990.

