

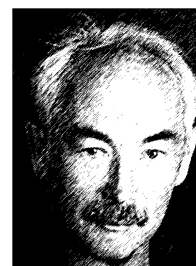
Los Nobel de Química y Física 2007

Emilio Orgaz¹

Durante el pasado mes de octubre, la Fundación Nobel a través de la Academia Sueca de Ciencias otorgó, como cada año, los premios Nobel. Tal vez el evento científico más promocionado, comparable a la entrega de los Oscar, los Emmy y los Grammy, la atribución de un premio Nobel nunca está exenta de debate, de juicios sobre si no habría otros científicos que lo merecieran, etcétera. Sin embargo, rara es la ocasión en que alguien sensato afirme que los premios no son justos. Quienes los reciben sin duda los merecen. ¡Como siempre, hay más científicos meritorios que premios! Y así es el caso este año en los Nobel de Química y Física.

¿Por qué hablar en *Educación Química* de los dos Nobel? Un poco de atención y descubriremos que ambos premios tienen fuertemente que ver con el estado sólido y la ciencia de materiales y con los procesos que en ellos ocurren desde un punto de vista muy fundamental. Es decir, tienen mucho de fisicoquímica. Una mirada a la literatura moderna, y notaremos el enorme auge que actualmente tiene la fisicoquímica, vestida y llamada de maneras distintas. De este modo, ya no es raro hallar en el *Physical Review* artículos en los que estudian la reactividad química de moléculas en superficie. No se diga de las revistas dedicadas a la fisicoquímica propiamente. La magnetoresistencia gigante, un fenómeno acoplado que describiremos más adelante, tiene mucho que ver con la química de los materiales. Por otro lado, el estudio de la interacción molécula-superficie, todavía más. Los estudios de Fert y Grünberg, al descubrir un nuevo fenómeno, han invitado a los químicos a buscar nuevos materiales y perfeccionar los existentes, así como el estudio experimental de reacciones químicas sobre superficies sólidas por Ertl ha contribuido enormemente al desarrollo de técnicas nuevas y por consiguiente al campo de la catálisis.

Sin embargo, ambas contribuciones tienen sus particularidades de forma: el Nobel de Física es por un descubrimiento específico, “la magnetoresistencia gigante”. El Nobel de Química es por una trayec-



Albert Fert, Nobel de Física 2007, Peter Grünberg, Nobel de Física 2007. y Gerhard Ertl, Nobel de Química 2007.

toria de importantes contribuciones; la química de superficies.

Quiénes son y qué hicieron es entonces el objeto de esta breve reseña. No puedo dejar de invitar a los lectores interesados a consultar las excelentes notas editadas en internet por la Fundación Nobel (Wennerström y Lidin, 2007; Colectivo, 2007). Los profesores Albert Fert y Peter Grünberg son físicos de la Universidad de Paris 11 en Orsay, Francia, y del Forschungszentrum en Jülich, Alemania, respectivamente. Como lo indica la Fundación, se ganaron el Nobel “for the discovery of Giant Magnetoresistance”. Gerhard Ertl es químico, profesor emérito del Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft en Berlin, Alemania, y la Fundación acota “for his studies of chemical processes on solid surfaces”. Tratemos ahora de entender que hay detrás de estos premios y empecemos por el caso más sencillo.

La magnetoresistencia gigante

Unas ideas que todos tenemos y que es sano recordar nos serán de gran utilidad para entender, en una muy primera aproximación, este fenómeno. Vamos a pensar en una molécula que pintamos, como es costumbre en química, a través de las fórmulas de Lewis. La fórmula de Lewis, por ejemplo del agua, pone de manifiesto ante nuestros ojos lo que pensamos que es una sensata distribución de los electrones de valencia a lo largo de la molécula tomando en cuenta las especificidades de los átomos que la componen. Si guardamos esta idea, enseñada nos podemos preguntar; ¿qué pasa si le aplico un campo eléctrico a esta molécula? La respuesta es inmediata para cualquiera que haya terminado el primer año

¹ Departamento de Física y Química Teórica, Facultad de Química, UNAM.

Artículo elaborado a solicitud del Director de la revista.

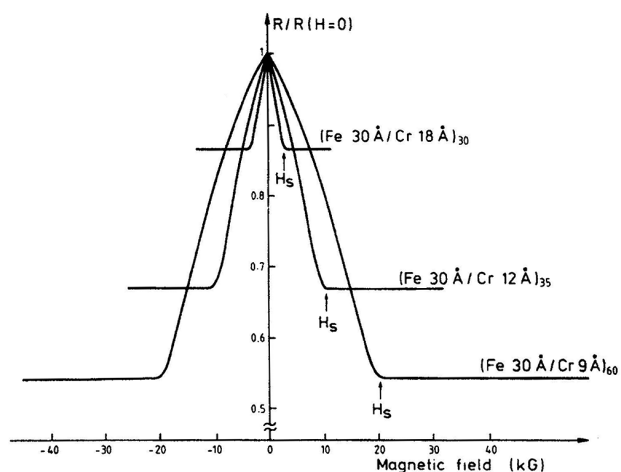


Figura 1. Medida original de Fert y colaboradores (Baibich *et al.*, 1988; Binasch *et al.*, 1989) en donde se observa el abatimiento de la resistencia eléctrica al aumentar el campo magnético.

de química. La “molécula se polariza”. Es decir la distribución de carga cambia y podemos inducir un momento dipolar si éste no existía o reorientar la molécula si presenta uno. Pensemos ahora en un sólido, que para todo efecto práctico es como una molécula gigante. Al aplicar un campo eléctrico tenemos el mismo resultado; los electrones menos ligados, los de valencia, “se polarizan”.

En pocas palabras, si aplicamos un campo eléctrico, obtenemos polarización del sistema. Esto se escribe como: $P=X E$, en donde P es la polarización, E el campo eléctrico y X la susceptibilidad eléctrica que tiene que ver con la polarizabilidad del medio. ¡Fácil! Ésta es una expresión que relaciona la causa (E) con el efecto (P) y X es entonces una propiedad de la molécula o sólido. En los sólidos puede haber otro efecto; los electrones se pueden mover a lo largo del sólido dando lugar a la conductividad eléctrica.

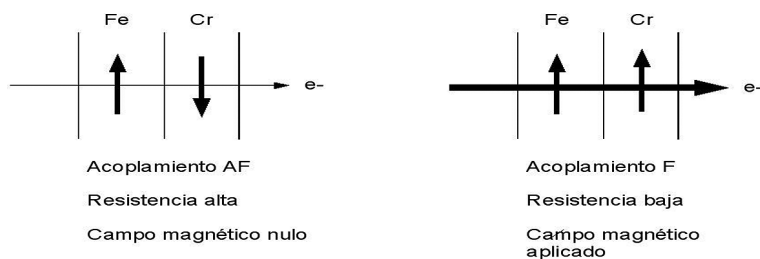


Figura 2. Esquema simplificado de un dispositivo multicapa que presenta magnetoresistencia.

La ley de Ohm nos recuerda que $V=RI$. Ésta es una manera práctica de escribirla pero muy fea para entenderla. Mejor la escribimos así: $I=(1/R)V$. Definimos la conductividad como algo inverso a la resistencia ($1/R$). Otra vez, causa (V) y efecto (I) y la conductividad o la resistencia es una propiedad intrínseca del material. Hasta aquí no está difícil. ¿Qué pasa si en lugar de un campo eléctrico, aplicamos un campo magnético? Pues lo que se polariza ahora no es la carga, isino el espín! Si nos acordamos, los estados ocupados por electrones tienen espín nulo: diamagnetismo. Si hay agujeros, es decir estados semillenos, podemos tener espín distinto de cero: existe un momento magnético y la molécula o sólido lo llamamos genéricamente “paramagneto”. El campo magnético tendrá el efecto de aumentar el número de espines no compensados y así “polariza” y aumenta el momento magnético. Un efecto bien conocido en sólidos es que los momentos magnéticos en los átomos pueden “distraer” a los electrones cuando viajan y frenar su movimiento: la resistencia aumenta. Pero no siempre es así. Entonces, ¿qué es la magnetoresistencia? Como se ve es un fenómeno acoplado; pongo un campo eléctrico para que haya flujo de electrones (corriente eléctrica) y uno magnético que polariza los espines. ¿Resultado? Hay una leve disminución de la resistencia por efecto del aumento del momento magnético (figura 1).

Este fenómeno es pequeño y no es fácil de medir. Pues bien, Albert Fert y Peter Grünberg descubrieron en 1986 de manera independiente que podía existir magnetoresistencia “no leve”, sino ¡gigante! Ambos investigadores imaginaron un dispositivo con materiales donde el efecto del campo magnético inducía una considerable disminución de la resistencia eléctrica. Veamos el sándwich que fabricaron Fert y Grünberg y cómo lo hicieron funcionar. En la figura 2 mostramos un dispositivo fabricado por capas alternadas de dos tipos de materiales. Este dispositivo fue fabricado haciendo capas alternadas de Fe y Cr de algunos angstroms de espesor. La técnica, muy sofisticada aun hoy día, se llama epitaxia por haz molecular.

Un resultado natural de este tipo de multicapas soportadas en una superficie de GaAs es que, Fe y Cr siendo materiales magnéticos, se acoplan de tal suerte que se forma una estructura heterogénea anti-ferromagnética: los espines de cada material se acoplan como en el esquema. Si se aplica un campo magnético a esta multicapa, es posible “voltear” el espín de una de las capas y alinearlos con el espín de

la otra: tenemos ahora un ferromagneto. La observación que constituyó el gran descubrimiento fue que la conductividad total de la multicapa orientada bajo campo magnético aumentó de manera importante. A un mes de publicados los descubrimientos de Fert y Grünberg, IBM, el gigante multinacional, ya había contactado a ambos investigadores. Sí, isólo un mes! De hecho, un investigador de IBM, Stuart Parkin fue quien logró fabricar estas estructuras con una técnica distinta y escalable a nivel industrial. Y a todo esto, ¿para qué sirve este fenómeno? ¿Por qué es importante? La aplicación más importante de los materiales con magnetoresistencia gigante es el diseño de memorias de masa. Es decir, discos duros que, funcionando bajo el mismo principio, pueden ahora almacenar mucha más información en un volumen menor. En la prensa se ha llamado a este premio Nobel de Física como el “Nobel del iPod”. Y no es sin razón. Los dispositivos de almacenamiento de datos en lectores de música, laptops etc. hacen uso de estos materiales. Mejor aún, sin magnetoresistencia gigante no hubiera habido iPods. Esto se convirtió en un negocio de 20,000 millones de dólares al año. Estas aplicaciones no volvieron ricos a sus descubridores pero sí famosos.

¿Y la química? Los primeros materiales y los más utilizados son versiones modificadas de metales ferromagnéticos. Sin embargo, la metalurgia química los ha mejorado apreciablemente. Por otro lado, en los años 90 fueron descubiertos nuevos materiales como CrO_2 y las manganitas de lantano (La_2MnO_3). Estas últimas presentan el fenómeno de magnetoresistencia muy “gigante” (la llaman “colosal”). Muchos analistas ven este premio Nobel como el primero de una larga serie que hemos de ver relativos a la nanociencia. En efecto, la fabricación de estructuras con propiedades orientadas a escala nanométrica aún está por dar sus frutos en una gran diversidad de campos. Como sabemos, la química de materiales nanoscópicos está en gran auge y esto es muy sensible a las propiedades que se desean explotar.

Las interacciones molécula-superficie

Este tema es muy difícil de describir. En lugar de dictar un curso o escribir un libro sobre el amplísimo tema, describamos someramente las cosas en las que Ertl ha incidido, para apreciar la magnitud de su influencia. Una superficie puede verse como un sólido que ya no continúa. Esa discontinuidad no es anodina: cambia fuertemente las propiedades e introduce algunas nuevas. ¿Por qué? Pensemos en

términos de las coordinaciones de los átomos. En un sólido, los átomos que los constituyen tienden a formar estructuras locales tridimensionales con números de coordinación elevados y altas simetrías. Por ejemplo, en un sólido cristalino cúbico, un átomo está rodeado por otros seis. La coordinación es seis en simetría octaédrica. En estructuras más compactas, la coordinación aumenta a 8 y 12 para las estructuras más simples cúbicas (centrada en el cuerpo y centrada en las caras, respectivamente). Si pensamos ahora de manera simplificada que hacia los átomos más cercanos se establecen enlaces químicos con orbitales dirigidos, la formación de una superficie deja un número importante de orbitales sin interacción química. Los átomos de la superficie sentirán un potencial distinto a los que están dentro, bien coordinados, y tenderán a cambiar el ordenamiento que tenían en el sólido cristalino. Esto es una reconstrucción de la superficie y es esencial para entender la reactividad de ésta ante moléculas que se hallen en la fase colindante, usualmente gaseosa. En la figura 3 mostramos un ejemplo reciente de un estudio de la

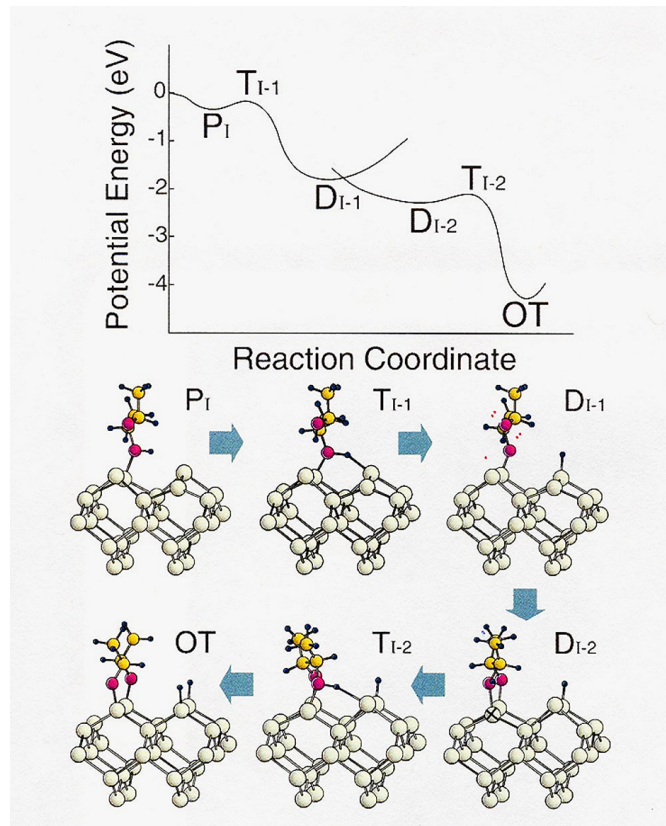


Figura 3. Perfil de energía de la reacción de fisorción de 2,3-butanediol en una superficie de Si (001) (Lee y Cho, 2007).

interacción molécula-superficie; en este caso 2,3-butanediol en una superficie orientada de silicio.

Es justamente Gerhard Ertl uno de los pioneros en entender el rol que para la reactividad química tiene la reconstrucción de la superficie. Ertl fue entonces un pionero en el uso de técnicas espectroscópicas sofisticadas para el estudio de procesos químicos en superficies. Ertl utilizó técnicas de caracterización como LEED (low-energy electron diffraction), UPS (ultraviolet photoelectron spectroscopy) y STM (scanning tunneling microscope). El uso de estos métodos experimentales aunado a espectroscopias con tiempos de vuelo muy corto (femtosegundos) le permitió estudiar procesos catalíticos de gran importancia. Hasta su iniciativa hace más de treinta años, estas técnicas eran del dominio exclusivo del estudio de superficies sin la componente de reactividad química. Es decir, fenómenos de fisiorción y quimisorción, eventualmente disociativa. La caracterización de superficies en ambiente reactivo es uno de sus grandes méritos.

Investigó profundamente y desde un punto de vista muy fundamental, la síntesis de amoníaco sobre superficies de fierro (proceso Haber-Bosch) y la oxidación catalítica de CO en superficies de paladio, de gran importancia en el diseño de convertidores catalíticos. El haber incursionado en el estudio detallado de estos procesos complejos, redituó en la observación de fenómenos nunca antes vistos como reacciones oscilatorias en superficies de platino en donde la reconstrucción de la superficie juega un rol esencial.

Fisicoquímico experimental, Ertl nunca desdeñó abordar los problemas de maneras diversas. La limpieza y calidad de sus experimentos abrieron la puerta a la química de superficies “moderna”. En efecto, hay un antes y un después de Gerhard Ertl.

A manera de conclusión, creo que es bueno notar varias cosas. Ambos premios fueron otorgados

a investigadores con un trabajo experimental de gran calidad donde el espíritu crítico y la capacidad de observación les permitieron valorar la importancia de lo que hallaron. En ambos premios, los investigadores son personas de una gran cultura científica, de modo que la división teórico-experimental que usualmente padecemos está muy diluida. Intentar observar un fenómeno y darse los medios para ello, así como entender cuán importante es lo hallado, es el gran mérito de quienes realizan las aportaciones más relevantes al conocimiento. Como sucede cada vez con más frecuencia, detrás de los reconocimientos a individuos excepcionales, aparecen equipos de investigación multidisciplinarios. Esto, pienso, es algo en lo que deberíamos reflexionar. ■

Referencias

- Baibich, M. N., J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, G. Creuzet, A. Friederichs y J. Chazelas, *Phys. Rev. Lett.*, **61**, 2472, 1988.
- Binasch, G., P. Grünberg, F. Saurenbach y W. Zinn, *Phys. Rev. B*, **39**, R4828, 1989.
- Colectivo- Scientific Background on the Nobel Prize in Physics, The Discovery of Giant Magnetoresistance, The Royal Swedish Academy of Sciences, 2007. Consultado en la URL http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2007/phyadv07.pdf el 29 de octubre de 2007.
- Lee, J.-H. y J.-H. Cho, *Phys. Rev. B*, **76**, 125302, 2007.
- Wennerström, Håkan y Sven Lidin, Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry, Chemical Processes on Solid Surfaces, The Royal Swedish Academy of Sciences, 2007. En la URL http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2007/chemadv07.pdf el 29 de octubre de 2007.