

Nanotecnología, una esperanza muy concreta

Andoni Garritz

Pocos términos en las ciencias físicas y químicas han recibido más uso (y más abuso) en los últimos tiempos que el término “nanociencia” o, aún peor, “nanotecnología”. No existe una definición precisa de lo que significa nanotecnología, pero los científicos han aprendido cómo controlar el tamaño y forma de una amplia gama de materiales, a nivel atómico y molecular. En ese proceso, han descubierto propiedades interesantes y potencialmente útiles, muchas de ellas no anticipadas por nadie.

Los últimos quince años o así han sido testigos de la explosión de herramientas relativamente baratas para interrogar y manipular materiales a escala de los nanómetros,¹ tales como microscopios de exploración y sondeo (véase en la portada de este número un ejemplo de microscopía en la que pueden verse con claridad átomos de níquel en el cristal). Al mismo tiempo, varios campos antes no relacionados (tales como la ingeniería eléctrica y la biología) han empezado a enfocarse a entender y controlar fenómenos físicos y químicos sobre esta escala de longitudes, típicamente de 1 a 100 nm.

Un aspecto clave de la nanotecnología es que los materiales a nanoescala ofrecen diferentes propiedades físicas y químicas que el material en bulto y que esas propiedades pueden formar la base de nuevas tecnologías. Por ejemplo, los científicos han aprendido que las propiedades electrónicas —y de aquí las ópticas— de las partículas con nanotamaño pueden variar ajustando su longitud. Así, cuando el oro se reduce a barras del tamaño de los nanómetros, su intensidad fluorescente se eleva diez millones de veces. La longitud de onda de la luz emitida se incrementa linealmente con la longitud de la barra, mientras que la intensidad de la luz se incrementa según el cuadrado de dicha longitud.

Los nanomateriales ya están jugando un papel primordial en gran número de tecnologías comerciales. Thayer (2000) nos da una relación de 34 industrias estadounidenses fabricantes de nanomateriales.

¹ Un nanómetro es 10^{-9} m y su símbolo es “nm”. Se trata de una distancia diez veces mayor que un angstrom, Å, que mide 10^{-10} m. Recordemos que un angstrom es la medida aproximada de un átomo. El radio del átomo de hidrógeno, según Bohr, es de 0.53 Å.

Hoy tales dispositivos son fabricados empleando una técnica “de arriba a abajo”. Por ejemplo, en la industria microelectrónica se emplean técnicas litográficas para grabar silicio cristalino formando dispositivos y circuitos del tamaño de los micrómetros. Conforme las características de los dispositivos se vuelven más finas, el número de dispositivos que se introducen en un chip se ha venido doblando cada 18 a 24 meses, durante muchos años. Hoy se piensa que va a ser imposible que los hacedores de chips logren seguir con esa miniaturización durante una década más. Cuando las características de los dispositivos microelectrónicos se requieran plantear a la escala de los nanómetros (¿hablaremos entonces de materiales nanoelectrónicos?) los costos de fabricación se volverán prohibitivos. Es en este sentido en el que la nanotecnología promete ser una alternativa para fabricar estos materiales de una manera “de abajo para arriba”. Es decir, obtenerlos a partir de componentes más simples, como moléculas y otras nanoestructuras (Dagani, 2000).

Vamos a echar una ojeada a un par de campos específicos en los que la química ha hecho aportaciones importantes a la nanotecnología.

Materiales moleculares en dispositivos electrónicos y optoelectrónicos

Los efectos de las revoluciones electrónica y fotónica posibilitadas por el transistor basado en silicio, las fibras ópticas y los láseres de estado sólido son evidentes en casi cualquier aspecto del comercio moderno. Sin embargo, lejos de haberse saturado el mercado, se predice que proliferarán estos dispositivos mucho más allá de lo que hemos imaginado hasta hoy: a pesar de que aproximadamente 50% de los hogares en los países desarrollados poseen una computadora personal, los líderes industriales de hoy predicen que en la próxima década, o así, cada uno de nosotros tendremos docenas o hasta cientos de computadoras (la mayor parte de ellas embebidas en dispositivos de información), todas las cuales se comunicarán unas con otras en una red similar al Internet. No sabremos ni dónde están esas computadoras, ni nos importará, siempre que lleven a cabo sus funciones adecuadamente (Sheats, 1999).

En ese nuevo mundo de “computación pe-

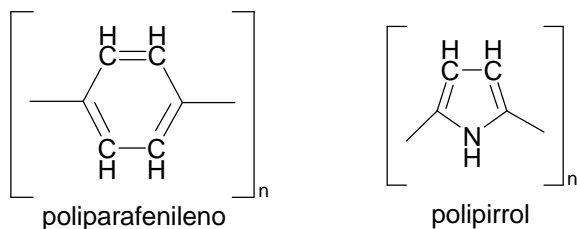


Figura 1. Dos ejemplos de polímeros conductores que funcionan como diodos emisores de luz (Ball, 1994).

netrante” la conciencia del usuario por su computadora se encuentra solamente en lo que él o ella ven en la interfase: el monitor y el dispositivo de entrada. Los monitores son considerados hoy como un “periférico”, pero serán el objeto central desde la perspectiva del usuario, mientras que el procesador se volverá un “periférico”. Esta visión, sin embargo, requerirá una visualización diferente a la proporcionada hoy por los tubos de rayos catódicos o los caros (y lentos) cristales líquidos, dado que deben ser numerosos, compactos y portátiles. La emergencia de este nuevo paradigma de visualización nos llevará a la aparición de dispositivos menores, más ligeros y más baratos que los instrumentos de despliegue actuales. La electroluminiscencia orgánica, un fenómeno primero observado y estudiado extensivamente en los años sesenta, es el candidato más probable para servirnos con ese fin.

Los fundamentos de nuestro conocimiento actual acerca de excitaciones electrónicas, transporte de energía y fotoquímica se dieron en aquella época. La potencialidad de la aplicación comercial de esos materiales orgánicos electroluminiscentes fue rápidamente reconocida, y a lo largo de los años se ha desarrollado una gran cantidad de trabajo intentan-

do desarrollar productos como celdas solares, memorias fotocromáticas u holográficas, dispositivos ópticos no lineales, dispositivos para visualización y transistores. No obstante la única historia exitosa de ellos se ha dado en la industria de la xerografía: esencialmente todas las fotocopiadoras hoy emplean fotoconductores orgánicos (Sheats, Chang, Roitman y Stoking, 1999).

Hoy conocemos una multitud de materiales orgánicos electroluminiscentes, tales como diversos polímeros conductores, como el poliparafenileno, la polianilina, el polipirrol y el politiofeno (figura 1).

La electroluminiscencia orgánica se obtiene colocando un material orgánico transportador de carga y emisor de luz entre dos electrodos (uno de los cuales es transparente). Se inyecta carga en el HOMO² del ánodo (positivo) y el LUMO³ del cátodo (negativo), la cual migra en el campo aplicado hasta que se aniquila, produciendo un estado radiante de energía (figura 2).

Este campo de los polímeros conductores partió con el descubrimiento, en 1977, de esta propiedad en el poliacetileno, por Heeger, MacDiarmid y Shirikawa (Chiang *et al.*, 1977), por el cual acaban de recibir el premio Nobel de Química en el año 2000 (figura 3). Éste fue seguido por el descubrimiento, hace diez años, de que un polímero, el poli(parafenileno-vinileno), puede emplearse como el medio activo emisor de luz en dispositivos emisores de luz basados en polímeros (Burroughes *et al.*, 1990).

Lo que los científicos desean ahora es obtener arreglos moleculares que puedan ser útiles como componentes de un nanodispositivo. Tales arreglos

² Orbital molecular más alto ocupado.

³ Orbital molecular más bajo no ocupado.

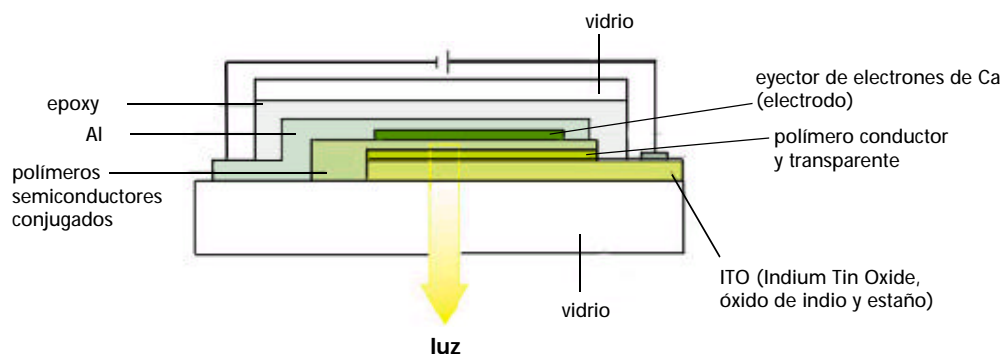


Figura 2. Corte de un diodo polimérico emisor de luz.

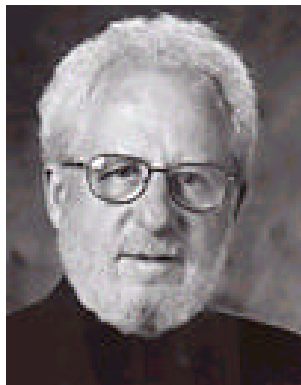


Figura 3. Alan J. Heeger, premio Nobel de Química en el año 2000, compartido con Alan G. MacDiarmid y Hideki Shirikawa.

son referidos hoy como “nanoscópicos” y su utilidad potencial en dispositivos de visualización es una razón importante del interés mundial en la “nanotecnología” (Fox, 1999).

“Switcheando” con moléculas

En la Universidad de California en Los Ángeles (UCLA) hay un par de profesores de química apellidados Heath y Stoddart que desean construir una nanocomputadora electrónica ensamblada químicamente.

Stoddart es un químico escocés que ha llevado a cabo la síntesis de moléculas increíbles, como los rotaxanos, con una simpleza extraordinaria (figura 4). Sellando con una ligadura los extremos de un rotaxano, pudo obtener un [2]catenano (figura 5), consistente en dos moléculas encadenadas.

En la figura 6 presentamos un [2]catenano que es la base de un dispositivo molecular para “switchear”, obtenido en el laboratorio de Stoddart.

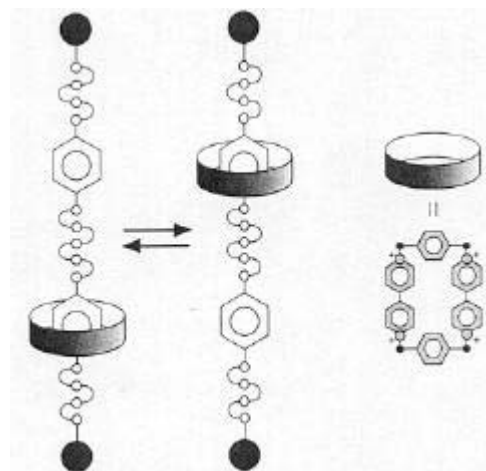


Figura 4. Un rotaxano, llamado así por parecer una rueda (*rota*, en latín) sobre un eje. Este rotaxano contiene una molécula (a la derecha) que transborda de un anillo fenílico a otro.

De esta manera, la molécula puede asumir cualquiera de dos diferentes posiciones, que representan los estados digitales “1” y “0”, entre los cuales puede “switcharse” aplicando una diferencia de voltaje. La molécula mostrada en la figura 6 ha demostrado poderse “switchear” innumerables veces, lo que representó un avance respecto a las moléculas obtenidas previamente por los mismos investigadores. Para conectar estos “switches” moleculares entre sí el equipo de UCLA está explorando el uso de nanocables de silicio o de nanotubos de carbono.

James M. Tour, desde el Centro Universitario de Ciencia y Tecnología a Nanoescala, de la Universidad de Rice, ha estado estudiando otros procedi-

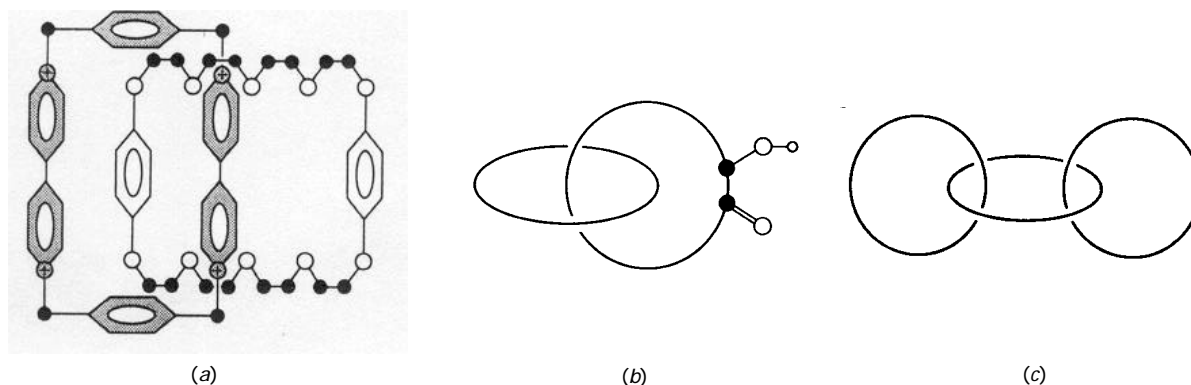


Figura 5. (a) [2]catenano obtenido por Stoddart; (b) El primer [2]catenano fue obtenido en 1960; (c) El primer [3]catenano, tres moléculas encadenadas, fue obtenido en 1977 por G. Schill.

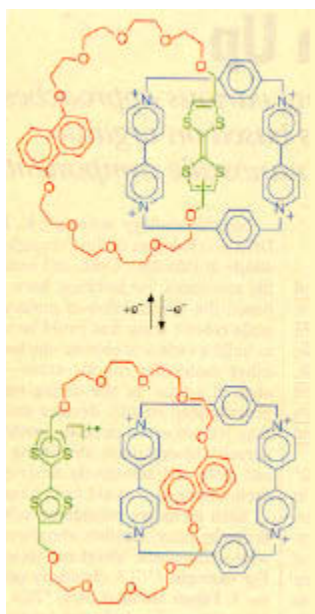


Figura 6. Una monocapa de este catenano, anclado con contraiones fosfolipídicos, es colocada entre dos electrodos. Pueden emplearse diferentes voltajes para “abrir” o “cerrar” el “switch” repetidamente y para leer su estado. La de arriba es la estructura del estado basal del catenano, es su estado “abierto”. Cuando la molécula se oxida con un pulso de voltaje, el grupo tetratiofulvaleno (aquél con los cuatro azufres) se torna catiónico y es repelido por el ciclofano tetracatiónico (con cuatro N^+). La repulsión logra la rotación del anillo para dar como resultado un co-conformero diferente, el de abajo en la figura. Este co-conformero debe ganar un electrón para alcanzar el estado de “switch” “cerrado”.

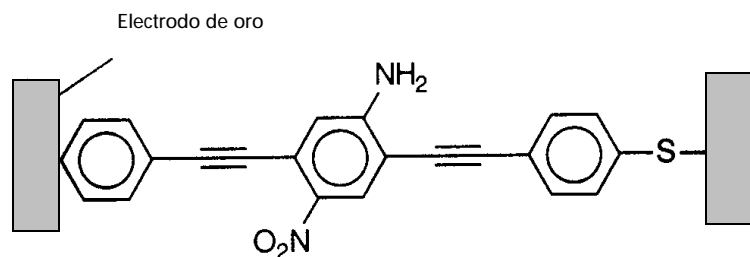


Figura 7. Un dispositivo electrónico molecular. En estudios a 60 K de temperatura, esta molécula demostró poseer una resistencia diferencial negativa (un tipo de comportamiento de “switch”). La cuestión es que la molécula tiene dos estados de oxidación estables, que pueden mostrarse en forma de “0” (estado aislante) o de “1” (estado conductor), por lo que sirve como un dispositivo de memoria molecular.

mientos para “switchear” con “alambres moleculares”. Estos nanoalambres son cadenas conjugadas en las que, por ejemplo, se alternan anillos bencénicos funcionalizados con grupos acetileno. Estos nanoalambres se enlazan como “clips de caimán moleculares” a electrodos de oro u otros metales (véase la figura 7).

Ese comportamiento citado en el pie de la figura 7, cuando la molécula del nanoalambre se coloca entre dos electrodos, es lo que resulta novedoso. Se trata de un resultado que nadie hubiera esperado, dice el profesor Heath, “es excitante poder diseñar una propiedad en una molécula obtenida utilizando técnicas orgánicas tradicionales y ver que dicha propiedad emerge en un dispositivo de estado sólido cuando la molécula se coloca entre dos electrodos”.

Referencias

- Ball, P., *Designing the molecular world. Chemistry at the frontier*. Princeton University Press, Princeton, 1994.
- Burroughes, J.H., Bradley, D.D., Brown, A.R., Marks, R.N., Mackay, K., Friend, R.H., Burn, P.L. and Holmes, A.B., Light emitting diodes based upon conjugated polymers, *Nature*, **1990**, 347, 539-541.
- Chiang, C.K., Fincher, C.R., Park, Y.W., Heeger, A.J., Shirikawa, H., Louis, E.J., Gao, S.C. and MacDiarmid, A.G., Electrical conductivity in doped polyacetylene. *Phys. Rev. Lett.*, **1977**, 39, 1098-1101.
- Dagani, R., Building From The Bottom Up, *Chem & Eng. News*, **78** (42) 27-32, October 16th, 2000.
- Fox, M.A., Fundamentals in the Design of Molecular Electronic Devices: Long Range Charge Carrier Transport and Electronic Coupling, *Accounts of Chem. Res.*, **32** (3) 201-207, 1999.
- Sheats, J.R. and Barbara P.F., Editorial. Molecular Materials in Electronic and Photoelectronic Devices, *Accounts of Chem. Res.*, **32** (3) 191-192, 1999.
- Sheats, J.R., Chang, Y.L., Roitman, D.B. and Stoking, A., Chemical Aspects of Polymeric Electroluminescent Devices, *Accounts of Chem. Res.*, **32** (3) 193-200, 1999.
- Thayer, A.M., Firms Find a New Field of Dreams, *Chem & Eng. News*, **78** (42) 36-38, October 16th, 2000.