

# Un afortunado error: los polímeros conductores de electricidad

Zaira Domínguez Esquivel, Samuel Cruz Sánchez,  
Óscar García Barradas y Rafael Ramos Morales<sup>1</sup>

**h**istóricamente, nuestra especie ha estado ligada al desarrollo de los materiales de forma tan indisoluble que es común que se hable de periodos específicos que marcan nuestra evolución en función del dominio adquirido en el uso de los materiales; ejemplo de ello son los términos *Edad de piedra* o *Edad de bronce*. El surgimiento de nuevos materiales se ha debido en gran medida a la necesidad de fabricar objetos o satisfactores que tengan las propiedades requeridas por el usuario, como mayor dureza, transparencia, flexibilidad y demás, pero también gracias a los avances científicos y tecnológicos, de tal suerte que frecuentemente es difícil decir qué ocurrió primero, si el descubrimiento tecnológico que requería de un nuevo material, o el nuevo material que permitió el descubrimiento tecnológico.

La ciencia de materiales es la que se encarga del diseño y estudio de nuevos materiales; es una ciencia multidisciplinaria en la que colaboran químicos, físicos, ingenieros y, en ocasiones, también biólogos y médicos, quienes aportan los conocimientos propios de cada una de sus disciplinas.

Es en un laboratorio donde se preparan y estudian los materiales propios de la vida moderna, los cuales hemos incorporado a nuestra cotidianidad sin percatarnos muchas veces del trabajo de investigación que los ha puesto en nuestras computadoras y aparatos de DVD o CD, por mencionar algunos ejemplos.

Existen diferentes tipos de materiales, los que pueden clasificarse de acuerdo con su naturaleza química (orgánicos, inorgánicos, metales, polímeros, etc.) o a las propiedades que poseen (conductores, ferroeléctricos, cristales líquidos, aislantes, etc.). Aquí

hablaremos solamente de un subgrupo particular: los polímeros conductores, que pertenecen a la categoría de los materiales orgánicos; es decir, son materiales constituidos básicamente por átomos de carbono e hidrógeno. Cabe mencionar que los avances logrados en la química orgánica durante los últimos años han permitido que los materiales orgánicos estén reemplazando a algunos materiales inorgánicos debido a que frecuentemente son más baratos y versátiles en sus aplicaciones.

## ¿Polímeros conductores de electricidad?

Un polímero es una molécula grande, o sea, una macromolécula, construida a partir de una unidad básica llamada "monómero", que se repite indefinidamente; por ejemplo, el poliestireno es un polímero que se forma a partir de moléculas de estireno hasta integrar cadenas muy largas; lo mismo se aplica al caso del poliacetileno, el cual proviene de la unión de muchas moléculas de acetileno (Figura 1).

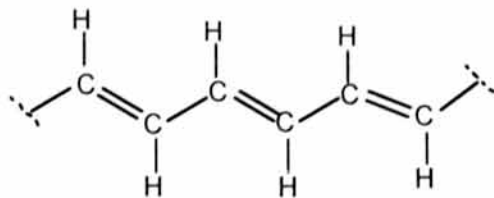


Figura 1. Estructura del poliacetileno

<sup>1</sup> Unidad de Servicios de Apoyo en Resolución Analítica (SARA) de la Universidad Veracruzana, Dr. Luis Castelazo Ayala s/n, Col. Industrial Ánimas, 91190 Xalapa, Ver., tel. y fax (228)812-71-10, correos electrónicos: zdominguez@uv.mx, scruz@uv.mx, osgarcia@uv.mx, ramos@uv.mx.

Los polímeros probablemente son los materiales orgánicos más versátiles y más ampliamente usados de las últimas décadas; con ellos se fabrica ropa, muebles ligeros, aditamentos para autos e inclusive tarjetas de crédito, además de que son muy utilizados en la industria de la electrónica como materiales aislantes con los que se recubren usualmente los alambres de cobre para impedir el paso de la electricidad; sin embargo, los avances en la investigación hecha en este campo durante las últimas tres décadas ha dado origen a una nueva clase de polímeros capaces de conducir electricidad, lo que ha abierto nuevas e increíbles perspectivas en la ciencia de materiales.

no resultó ser un aislante. Cuando Shirakawa difundió sus resultados, unos investigadores norteamericanos, Alan Heeger y Alan MacDiarmid, los consideraron lo suficientemente interesantes como para realizar investigaciones más profundas en colaboración con el mismo Shirakawa sobre este peculiar material. En 1976, encontraron que cuando añadían yodo a las películas de plástico (es decir, las "dopaban" con yodo), el material adquiría un color dorado y su conductividad aumentaba cerca de mil millones de veces. Los estudios que realizaron en este campo los tres investigadores culminaron en el año 2000 con el pleno reconocimiento de la comunidad científica, la que contribuyó decididamente a que se les otorgara el Premio Nóbel de Química. Actualmente, un buen porcentaje de la comunidad de químicos orgánicos continúa explorando el diseño de nuevos polímeros conductores y sus aplicaciones tecnológicas.

## Un poco de historia

En 1970, un estudiante de doctorado que se encontraba trabajando con el químico japonés Hideki Shirakawa en el Instituto de Tecnología de Tokio cometió un error propio de la inexperiencia. Se le había pedido que sintetizara un polímero llamado poliacetileno a través de una reacción catalítica. El producto normal de este proceso debía ser un polvo oscuro. Pero, en lugar de eso, el estudiante obtuvo una película elástica y plateada, con apariencia metálica, que recubría las paredes del aparato. Al revisar cuidadosamente sus notas, el estudiante encontró su error: ¡había usado mil veces más catalizador que el usualmente empleado en la síntesis del poliacetileno! Pese a ello, la curiosidad científica llevó a Shirakawa a investigar si ese plástico con aspecto metálico podía comportarse también como un metal y ser así un buen conductor de electricidad. Aunque las pruebas que hizo demostraron que este polímero plateado no era del todo un buen conductor eléctrico, al menos

## Enlaces y bandas

Los materiales conductores de electricidad que conocemos son metales, y el que nos resulta más familiar es probablemente el cobre. Pero, ¿qué es lo que hace que un metal sea conductor? Un material puede ser un conductor de la electricidad si contiene partículas móviles cargadas eléctricamente, como los electrones. Sabemos que la materia está constituida por átomos, y estos, a su vez, por electrones, protones y neutrones, así que resulta claro que los materiales conductores y los aislantes deben contener electrones; sin embargo, en un conductor algunos electrones pueden moverse libremente a través del material, pero no lo hacen así en un aislante.

Los electrones dentro de un átomo aislado se encuentran alrededor del núcleo, localizados en espacios específicos a los que se denomina "orbitales" debido a que en uno de los primeros modelos atómicos se describía al átomo como un pequeño sistema solar, en el que el núcleo ocupaba el centro de manera análoga al Sol, mientras los electrones giraban a su alrededor como pequeños planetas que describían órbitas circulares. Por otra parte, en una molécula los átomos que la conforman se mantienen juntos a través de enlaces, y estos enlaces se forman gracias a que dos o más átomos comparten electrones. En las moléculas

orgánicas generalmente cada uno de los átomos involucrados en la formación de un enlace comparte electrones de una manera igualitaria, esto es, cada átomo dona uno de sus electrones para que se efectúe la unión; como consecuencia, los electrones de enlace no están restringidos a moverse alrededor del núcleo de su propio átomo, sino que pueden moverse en una zona intermedia entre los átomos que se han enlazado (zona a la que se conoce como "orbital molecular"); al hacerlo así, ganan un poco más de libertad de movimiento.

Si pudiéramos visualizar un pedazo de cualquier sólido —sea metal, semiconductor o aislante—, veríamos un sin fin de átomos o moléculas una al lado de la otra en un arreglo tridimensional, tan cerca que los orbitales atómicos y/o moleculares se superponen entre sí, formando una región o "banda" en la cual los electrones pueden moverse libremente transportando cargas, sin importar a qué átomo o molécula hayan pertenecido originalmente, de manera análoga a la descripción simplista del enlace al que nos referimos en el párrafo anterior.

En un aislante como el diamante, un semiconductor como el silicio o un conductor como el cobre, las bandas de electrones se extienden a través de la celda cristalina; aun así, los electrones pueden viajar más o menos libremente sólo en el cobre. ¿A qué se debe esto? El factor crucial que permite el mayor grado de movimiento en los electrones de un conductor tiene que ver con cuán llenas de electrones estén sus bandas. Imaginemos una pequeña caja de madera en la que se ha colocado una capa de canicas que se hallan una junto a otra, de manera que cubran toda la superficie de la caja. En ese caso, las canicas no tendrán ninguna movilidad; pero si retiramos varias de ellas, las que queden empezarán a moverse más libremente. De igual manera, si una banda está saturada de electrones, estos no podrán desplazarse y, por ende, la conductividad del material será nula.

Los semiconductores son materiales que tienen una conductividad mucho menor que la de un metal pero que no pueden considerarse aislantes. Su importancia tecnológica estriba en el hecho de que su conductividad puede cambiarse y controlarse modificando su composición química. El ejemplo clásico de un semiconductor es el silicio, pero el polímero sintetizado por Shirakawa pertenece también a este tipo de materiales.

El poliacetileno estudiado por Shirakawa es una molécula que tiene enlaces carbono-carbono sencillos y dobles alternados. Los electrones que poseen mayor movilidad son los que se

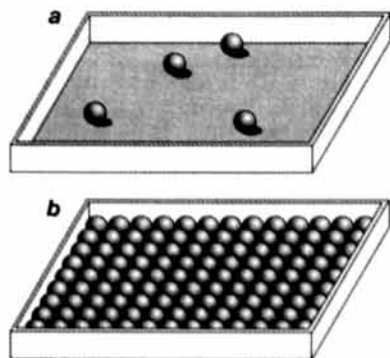
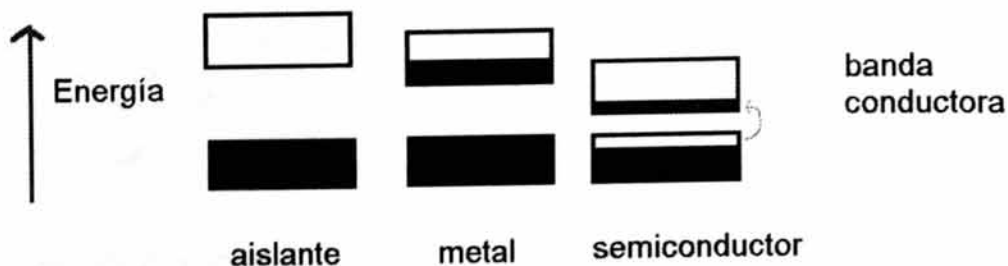
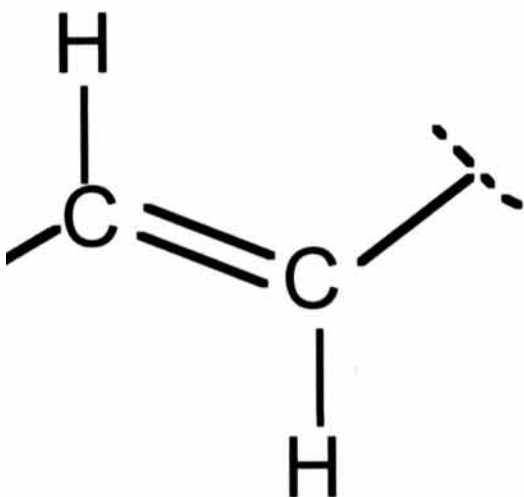


Figura 2. Las figuras a y b representan una caja con canicas. En el caso b, la caja está llena y las canicas no pueden moverse, mientras que en a pueden desplazarse sobre el fondo de la caja con bastante libertad.

encuentran justamente en los dobles enlaces (electrones tipo  $\pi$ ), y constituyen entonces la banda de interés. No obstante, la banda  $\pi$  está llena, y —tal como explicamos en los párrafos anteriores— eso significa que bajo esas condiciones no puede conducir la electricidad. Afortunadamente, junto a esa banda saturada se encuentra otra banda vacía muy cercana en energía, de tal manera que los electrones de la banda llena pueden saltar sin mucha dificultad a la vacía y, así, permitir la movilidad de las cargas. La introducción de dopantes en la estructura del material semiconductor sólido ayuda a que éste pueda transformarse en un conductor fácilmente, ya que la función que desempeñan puede ser de dos tipos: 1) actuar como secuestradores de algunos electrones de la banda llena, o 2) inyectar electrones a la banda conductora de electricidad que está vacía. El resultado final en ambos casos es proporcionar movilidad a los electrones. Los dopantes son átomos o moléculas diferentes a las del material semiconductor que se mezclan íntimamente con éste. En el caso del polímero de Shirakawa, el dopante empleado para incrementar su conductividad fue el yodo.



**Figura 3.** Los tres pares de rectángulos representan las bandas de conductividad de los tres tipos de materiales de los que hemos hablado: aislantes, metales y semiconductores. Los rectángulos vacíos representan bandas sin electrones, mientras que los rectángulos llenos o semilenos representan bandas llenas de electrones o semilenas. Como puede apreciarse, en el caso de un semiconductor los electrones de la capa llena brincan fácilmente a la capa vacía para convertir el material en un conductor (ver el texto).



Las investigaciones en este campo se han acelerado desde el descubrimiento accidental de las propiedades conductoras de los polímeros, de tal suerte que ahora se cuenta con un buen menú de materiales orgánicos, muchos de los cuales han encontrado aplicaciones que antes estaban reservadas exclusivamente a los metales. Por ejemplo, la construcción de baterías poliméricas, que ya están disponibles comercialmente, o dispositivos tales como los diodos orgánicos luminiscentes que se emplean en la fabricación de pantallas planas de teléfonos celulares, televisores y otros equipos. Más aun, podría ser que en un futuro cercano los cables de metal a los que estamos acostumbrados fueran remplazados por alambres de plástico más ligeros y baratos. Aunque todavía no podemos vislumbrar todas las posibles aplicaciones con las que nos sorprenderán los polímeros conductores en los próximos años, no cabe duda que están abiertas muchas posibilidades gracias a un afortunado error ocurrido en un laboratorio de Tokio.

