

# Avance y Perspectiva

Revista de divulgación del CINVESTAV

## ¿Conductor eléctrico y transparente? Exigencias extravagantes para materiales cotidianos

Karina Galache · Wednesday, January 31st, 2024

Categorías: [Ciencias Exactas](#), [Zona Abierta](#)

Miles de años han pasado desde que al *Homo sapiens* se le ocurrió usar una piedra en lugar de sus manos para golpear las cosas. Sin embargo, debido a su naturaleza y motivado por curiosidad, necesidad o hambre –es difícil adivinar cuál–, no quedó satisfecho con emplear cualquier piedra. En algún momento de la prehistoria, tal vez encontró una piedra pómez que resultó ligera, fácil de transportar y útil para limar los callos de los pies después de las arduas caminatas, pero no era adecuada para cazar o utilizarla como martillo. Así, a lo largo de la historia, a través de la interacción con el entorno, buscamos materiales que resuelvan nuestras necesidades, hasta el punto de exigirles más de lo que ofrecen de manera natural.

Después de la Edad de Piedra, el cobre no resultó lo suficientemente útil para la fabricación de herramientas, por lo que se le tuvo que agregar estaño, dando lugar a la Edad de Bronce. Posteriormente, el hierro no cumplió con todas las exigencias y se le añadió carbono para formar acero. Estos intentos de prueba y error se convirtieron en lo que hoy conocemos como “desarrollo de la tecnología”, el cual se ha convertido en un motor para el descubrimiento de propiedades interesantes y útiles de los materiales. En la actualidad, por ejemplo, se combina titanio y nitrógeno para proteger a las brocas de ambientes agresivos ante las demandas de la manufactura moderna (Jirón-Lazos et al. 2021). Continuamente exigimos de los materiales propiedades nuevas o mejores, pero no les hemos dejado todo el trabajo, pues basados en la observación de la naturaleza, el *Homo sapiens* comenzó el desarrollo de materiales de una manera empírica, combinando diferentes sustancias. Los científicos de hoy en día continuamos con ello, pero ahora se cuenta con un tablero lleno de piezas con las que nos aventuramos a jugar para descubrir propiedades fascinantes e inesperadas en el mundo de los materiales.

### El tablero y las piezas del juego

Los átomos descubiertos hasta hoy conforman los 118 elementos que se encuentran en la Tabla Periódica, cada uno con propiedades físicas y químicas únicas. En esta tabla se encuentran ordenados de acuerdo con su número atómico (cantidad de protones en el núcleo), configuración electrónica (organización de los electrones de acuerdo con su energía) y otras propiedades químicas. Podemos imaginar que cada elemento de la Tabla Periódica es una ficha con la que es

posible jugar y combinar para formar la materia del universo. ¡Pero cuidado! al igual que en cualquier juego, hay reglas que se deben cumplir y ciertas excepciones.

A través de una selección apropiada de fichas se obtienen los materiales más actuales y novedosos, como los que se encuentran en los dispositivos electrónicos que, sin darnos cuenta, son parte de nuestra vida al proveernos energía eléctrica, comunicaciones, entretenimiento y otras comodidades. Es difícil estar un día sin hacer uso de alguno de estos aparatos, si no lo crees, la próxima vez que camines por alguna calle concurrida o centro comercial, detente un momento a observar a tu alrededor. Seguramente notarás las pantallas planas que se usan como carteles publicitarios, así como una gran cantidad de dispositivos inteligentes con pantallas integradas, como cajeros automáticos o terminales de punto de venta. Además, es posible que veas luminarias en las calles y los estacionamientos funcionando a través de un panel solar. Incluso en este momento, es probable que estés leyendo este artículo a través de la pantalla de tu “smartphone”, “tablet” o “laptop”. Detrás de todos estos aparatos se involucra una amplia variedad de materiales, a los que como buenos *Homo sapiens* les hemos agregado ciertas características para satisfacer nuevas exigencias con aplicaciones tecnológicas extravagantes.

### ¿Qué tan exigentes somos?

Para tener una idea, imagina que te piden un material que sea un buen conductor eléctrico, ¡Fácil! ¿no crees?, inmediatamente de la Tabla Periódica elegirías al cobre, un metal que justamente se utiliza en los cables de las conexiones eléctricas. Ahora, si te pidieran fabricar un material transparente podrías pensar rápidamente en el vidrio, pero ¿de qué está hecho el vidrio? el compuesto químico principal del vidrio se llama óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ).

Hasta ahora estos materiales son relativamente sencillos, pero ¿qué harías si te exigen desarrollar un material que sea conductor eléctrico como los metales y que al mismo tiempo sea transparente como el vidrio? ¡sí, ambas propiedades al mismo tiempo! te encontrarías frente a un gran desafío. Por un lado, los metales son opacos ¿no puedes ver a través de ellos? y, por el otro, el  $\text{SiO}_2$  no conduce la electricidad. A pesar de lo complicado que suena el conjuntar estas propiedades, las pantallas planas y celdas solares utilizan materiales que cumplen con estas características. Estos materiales se conocen como “óxidos conductores transparentes” o TCO (por las siglas del inglés *transparent conducting oxides*).

Para hablar de los TCO, primero es necesario introducir un grupo específico de materiales: los semiconductores. Al clasificar a los materiales según su capacidad para conducir la electricidad, se tiene en los extremos a los metales y a los aislantes. A la mitad se encuentran los semiconductores, que no son tan excelentes conductores como un metal, pero tampoco impiden la conducción de electricidad como los aislantes (Martínez-García et al. 2022). En este punto intermedio, los semiconductores pueden llegar a tener características para ser considerados como TCO, siempre y cuando se mejoren algunas de sus propiedades, haciendo mezclas químicas especiales utilizando tecnología de vanguardia donde los científicos debemos confesar que hemos aplicado algunas prácticas que en otros ámbitos son consideradas ilegales, por ejemplo, el “dopaje”.

### El “dopaje”: más que solo una trampa

Antes de alarmarnos es importante comprender qué se entiende por “dopaje”. Según el Diccionario de la Real Academia Española (DRAE) la palabra “dopar” proviene del inglés “*to dope*” y tiene dos significados. El primero se refiere a “*administrar fármacos o sustancias estimulantes para potenciar artificialmente el rendimiento del organismo, a veces con peligro para la salud*”. Esta definición aplica para seres humanos y cierta práctica que, aunque ilegal, es furtivamente empleada durante competencias deportivas.

En el ámbito deportivo, varios atletas han recurrido a esta controversial “ayuda” para cumplir con las exigencias de sus disciplinas y su afán de ser ganadores. Un caso destacado fue el del ciclista norteamericano Lance Armstrong, quien ganó el Tour de Francia en 1999 y se mantuvo invicto 7 años, algo increíble y humanamente imposible. Más tarde se descubrió que había logrado esta hazaña mediante el tráfico y uso ilegal de sustancias dopantes. Como resultado de una investigación de la Agencia Antidopaje de los Estados Unidos de América, le retiraron todos los títulos y fue suspendido de por vida.

Tal vez ahora surge la pregunta ¿y si dopamos un material, lo podrían descalificar? Afortunadamente, la otra definición del DRAE para dopar es “*introducir en semiconductores impurezas con el fin de modificar su comportamiento*”. En este contexto, podemos modificar características eléctricas, ópticas, entre otras, mediante la introducción de impurezas o dopantes. Pero ¿cómo lograr esto? Por suerte, los científicos no tenemos que incurrir en la ilegalidad, traficar dopantes o escondernos de la ley para dopar semiconductores, lo que ocupamos es un conocimiento profundo de la *química de los materiales*. Así, a través de procesos científicos rigurosos, pueden introducirse de manera controlada los dopantes necesarios para ajustar las propiedades de los semiconductores en un amplio abanico de posibilidades.

### ¡Manos a la obra!

Podemos utilizar el dopaje en semiconductores para alcanzar las propiedades deseadas de conductividad y transparencia del material que se quiere desarrollar. Comenzaremos utilizando un semiconductor llamado óxido de zinc (ZnO). Te sorprenderá lo común que es, ya que lo podemos encontrar en pinturas como pigmento, en la pasta “lassar” para tratar rozaduras y ¡hasta en nuestros pies!, bueno, al menos los que usamos talco. En estas aplicaciones, el ZnO se encuentra en forma de polvo, pero gracias a la nanotecnología, también puede usarse en forma de recubrimiento (que es una capa delgada de material colocada sobre otro material). Y aunque es blanco en polvo, cuando el ZnO está como recubrimiento delgado de unos cuantos nanómetros (mil millonésimas partes de un metro) de espesor, es casi 80% transparente.

La nanotecnología nos ha dado herramientas para fabricar, dopar y estudiar estos materiales. Uno de los métodos utilizados para obtener recubrimientos de ZnO es el depósito por capas atómicas o ALD (por las siglas del inglés atomic layer deposition), que como lo dice su nombre consiste en “acomodar capas de átomos una a la vez”. El ALD se puede entender de manera similar a cómo se construye con los juegos de bloque: partiendo de bloques de Zn y O, primero se coloca una capa de bloques de Zn y después se agrega encima una capa de los de O, quitando entre cada paso los bloques que no se logran acoplar. Así, al acomodar capas de átomos una por una, se obtiene un recubrimiento de ZnO y se controla fácilmente el espesor. Para incorporar un dopante como el aluminio (Al) a este recubrimiento, se agrega de manera controlada “un bloque extra” entre los bloques de Zn (Figura 1). El material resultante de dopar ZnO con Al se conoce como óxido de

zinc dopado con aluminio o AZO (por las siglas del inglés *aluminum-doped zinc oxide*).



Figura 1. Esquema general del depósito de AZO por ALD.

¿Por qué dopar con Al? Para responder deben tomarse en cuenta las fichas de nuestro juego (Zn, O y Al) y la química de materiales, es decir, las reglas. En este caso, hay que considerar la relacionada con el estado de oxidación ¿término químico utilizado para indicar la cantidad de electrones ganados o perdidos respecto a un átomo neutro que posee el mismo número de cargas eléctricas positivas y negativas?, al participar en este juego el Zn tiene un estado de oxidación de 2+, el O de 2- y el Al de 3+. Esto significa que el Al pierde 3 electrones cuando se enlaza (un electrón más que el Zn), esto es, el dopante aporta un “electrón extra” que contribuirá a mejorar la conducción eléctrica de los recubrimientos de ZnO sin perder su transparencia. ¡Eureka, hemos fabricado un TCO! y en la Figura 2 se muestra una fotografía de un recubrimiento de AZO sobre vidrio en donde se observa que mantiene su transparencia y funciona como conductor eléctrico para encender un pequeño foco LED.



Figura 2. TCO en acción, AZO cerrando un circuito para encender un foco LED (por las siglas del inglés light-emitting diode). Foto: Obed Ramírez.

¿Qué piensas?, ¿te parece un gran desafío?, ¿llegamos al límite? o ¿puedes exigir más a estos materiales? Como te podrás imaginar, esta historia no termina aquí y las exigencias continúan. Por ejemplo, en México, esta tecnología se investiga y desarrolla dentro del grupo de Diseño y Optimización de Recubrimientos Avanzados (DORA-Lab) ubicado en Nuevo León, donde además de su fabricación, se exploran sus aplicaciones potenciales. Por ejemplo, al agregar mayor cantidad de dopante al ZnO, el AZO adquiere la capacidad de bloquear una parte de la luz solar responsable de la sensación de calor (Ortiz-Atondo et al. 2022). Por lo que ahora el reto será desarrollar un material que sea conductor eléctrico, transparente y que nos proteja del calor. ¿Dónde usarías un material así?, ¿qué más le haría falta? o ¿con qué otras fichas del tablero podríamos jugar? Te lo dejamos de tarea.

## Referencias

- Jirón-Lazos, U. Ramírez-Esquivel, O. Y., Mazón-Montijo, y D. A. Montiel-González, Z. (2021) ¡Que buen desorden! ... Recubrimientos avanzados para la protección y aumento de la vida útil de las herramientas. *Avance y Perspectiva*, 7 (1).
- Martínez-García, L., Montiel-González, Z, Ramírez-Esquivel, O. Y., y Mazón-Montijo, D. A. (2022) ¡A limpiar agua con óxidos! Química de materiales al servicio del ambiente. *Revista Digital Universitaria* 23 (5).
- Ortiz-Atondo, A. A., Ramírez-Esquivel, O. Y., Montiel-González, Z., y Mazón-Montijo, D. A. (2022). Semiconductores degenerados: aliados fuertes e inesperados de los sistemas de aire acondicionado. *Avance y Perspectiva*, 7(4).

---

This entry was posted on Wednesday, January 31st, 2024 at 9:39 pm and is filed under [Ciencias Exactas](#), [Zona Abierta](#)

You can follow any responses to this entry through the [Comments \(RSS\)](#) feed. Both comments and pings are currently closed.