

# eek'

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA DEL COZCYT  
Volumen 9 Número 4 Junio - Julio 2022 Publicación Bimestral eek@cozcyt.gob.mx



## Dr. Ricardo David Valdez Cepeda



CONSEJO ZACATECANO DE  
CIENCIA, TECNOLOGÍA  
E INNOVACIÓN  
ESTADO DE ZACATECAS



Conoce su estudio para optimizar la producción  
de nopal en el estado de Zacatecas

Artículos y Reportajes

La ciencia detrás del mito:  
murciélagos hematófagos

Metamateriales  
y el sueño de la invisibilidad

Lo que comemos  
afecta nuestros genes

# Metamateriales

## y el sueño de la invisibilidad



Luis Carlos Ortiz Dosal  
ortiz.dosal.lc@uaz.edu.mx

Adscripción: Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Ingeniería I. Maestría en Ciencia e Ingeniería de los Materiales  
Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento: Nanomateriales  
Proyecto de Investigación: Biosensores ópticos y eléctricos.

María Gabriela Yolanda Ángeles Robles  
gangeles@ifisica.uaslp.mx

Adscripción: Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Instituto de Física. Posgrado en Ciencias Interdisciplinarias  
Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento: Biofísica, Materia blanda, física  
Proyecto de Investigación: Biomembranas como modelos celulares

Eleazar Samuel Kolosovas Machuca  
samuel.kolosovas@uaslp.mx

Adscripción. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ciencias. Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología.  
Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento: Nanotecnología, Termografía  
Proyecto de Investigación: Aplicaciones biomédicas de nanotecnología

Desde hace miles de años la capacidad de volverse invisible ha capturado la imaginación de la humanidad. En el mito griego del anillo de Giges, un pastor encuentra un anillo de oro con la capacidad de volver invisible a quien lo porta. Esta idea fue retomada por el escritor y filólogo británico, J. R. R. Tolkien, cuando describe el Anillo Único en sus obras *El Señor de los Anillos* y *El Hobbit*, el cual otorgaba invisibilidad a su portador a un alto precio. En sus obras también describe un tipo de tela con extraordinaria capacidad para camuflarse y la existencia de otra que es invisible solo para los incompetentes, argumento con el que el rey es engañado en el cuento de hadas de Hans Christian Andersen "El traje nuevo del emperador".

Muchos científicos actualmente trabajan en el desarrollo de materiales que sean invisibles y una de las opciones que han abordado, es el uso de metamateriales. Los metamateriales (del griego meta, "más allá") son materiales cuyas propiedades no se encuentran de forma natural en los materiales comunes. Dichas propiedades dependen de la estructura con las que fueron

diseñados y no de su composición. Típicamente son materiales compuestos por metales y aislantes (dieléctricos) cuya estructura ha sido diseñada en patrones de tamaño muy pequeño, de orden micrométrico e incluso nanométrico. Algunos de ellos tienen la capacidad de invertir la dirección natural de la luz visible, lo cual, para el deleite de los aficionados a la ciencia ficción y la fantasía, permite la fabricación de dispositivos de camuflaje que pueden hacer que los objetos sean invisibles para el ojo humano, como lo señalan Valentine [1] y Ni [2].

Para lograrlo, estos metamateriales alteran el comportamiento normal de la luz. En el caso de la invisibilidad necesitan curvar las ondas de luz completamente alrededor del objeto, de forma similar al agua fluyendo alrededor de una piedra en un río. Esto es posible ya que tienen un índice de refracción negativo, en contraste, todos los materiales encontrados en la naturaleza tienen un índice de refracción positivo. El índice de refracción es una medida de que tanto se desvían las ondas electromagnéticas, (la luz) al pasar de un medio a otro. Todos hemos visto

ejemplos de cómo la refracción provoca ilusiones ópticas. Por ejemplo, si ponemos agua en un vaso e introducimos un popote, vemos cómo parece que el popote cambia de dirección. Si el agua tuviera un índice de refracción negativo, la parte sumergida del poste parecería sobresalir de la superficie del agua. Si un buzo estuviera sumergido en agua con índice de refracción negativo nos parecería que se mueve en el aire, sobre la superficie del agua. La Figura 1 es una representación esquemática de la refracción de la luz en la interfaz entre dos medios, con diferentes índices de refracción.

Así pues, los seres humanos vemos el mundo a través de la banda estrecha del espectro electromagnético conocida como luz visible, con longitudes de onda que van desde los 400 nanómetros (luz violeta y ultravioleta) hasta los 700 nanómetros (luz roja profunda). Las ondas de la luz ultravioleta tienen mayor energía, es decir son más cortas, entre los 10 y 400 nanómetros aproximadamente. Las longitudes de onda de la luz infrarroja son más largas, midiendo alrededor de 750 nanómetros hasta 1 milímetro. (Un cabello humano tiene cerca de 100,000 nanóme-

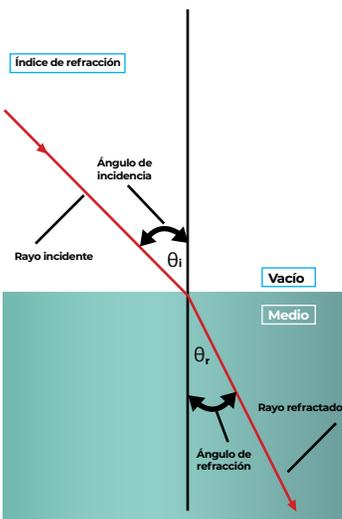
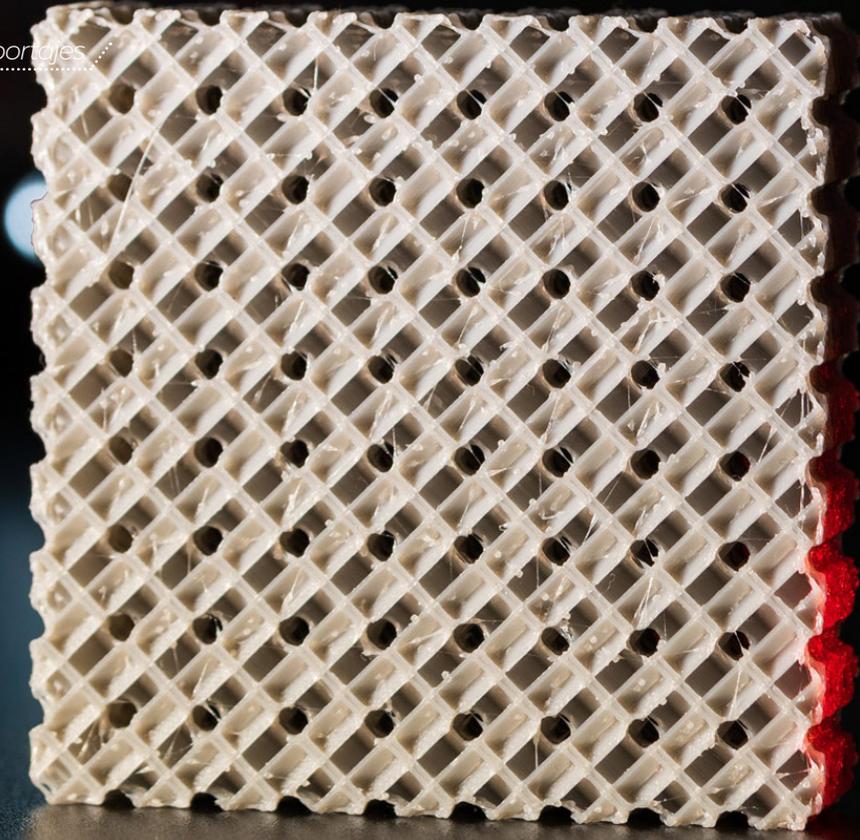


Figura 1. Refracción de la luz en la interfaz de dos sustancias con diferente índice de refracción. Nótese el cambio de dirección del haz de luz incidente.

tros de diámetro). Ambos tipos de radiación son invisibles al ojo humano.

Para que un metamaterial logre una refracción negativa, su matriz estructural debe ser más pequeña que la longitud de onda electromagnética que se está utilizando. Como era de esperar, ha habido más éxito en la manipulación de longitudes de onda en la banda de microondas, que es más larga, que puede medir de 1 milímetro hasta 30 centímetros de largo. Esto se debe al desafío tecnológico que implica la fabricación de dispositivos nanoestructurados. El prefijo nano proviene del latín nanus, que significa "enano" y actualmente tiene la acepción de una milmillonésima parte. Por lo tanto, un nanómetro (nm) es la milmillonésima (10<sup>-9</sup>) parte de un metro, esto es aproximadamente la anchura de tres o cuatro átomos. Para ponerlo en perspectiva, si nuestros átomos fueran del tamaño de una manzana nosotros seríamos tan grandes que el sistema solar cabría en la palma de nuestra mano. Otro ejemplo que nos puede ayudar a entender

las dimensiones es que el virus de inmunodeficiencia humana (VIH), que causa el Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA) tiene un diámetro de 100 a 120 nm, de acuerdo con Delgado [3].

En el método reportado por Valentine [1], apilaron capas alternadas de plata y fluoruro de magnesio no conductor y cortaron patrones en forma de red de tamaño nanométrico en las capas para crear un metamaterial óptico tridimensional. Cada par de capas conductoras y no conductoras forma un circuito o bucle de corriente. Apilar las capas alternas crea una serie de circuitos que responden juntos en oposición al campo magnético de la luz entrante. En longitudes de onda tan cortas como 1,500 nanómetros y ante el rango de luz del infrarrojo cercano, los investigadores midieron un índice de refracción negativo.

Es importante señalar que los materiales naturales no responden al campo magnético de la luz; el metamaterial descrito anteriormente sí lo hace. Este es el

primer material tridimensional que puede describirse con magnetismo óptico, por lo que tanto los campos eléctricos como magnéticos en una onda de luz se mueven hacia atrás en el material.

Aunque los resultados obtenidos hasta la fecha son prometedores, aún estamos lejos de las aplicaciones que cautivan nuestra imaginación. Por ejemplo, se observa que los metamateriales son frágiles y su producción a gran escala será un desafío hacia el futuro ya que se requiere del control preciso de dimensiones nanométricas.

■ Referencias

[1] Valentine, J., Zhang, S., Zentgraf, T., Ulin-Avila, E., Genov, D. A., Bartal, G. & Zhang, X. (2008). Three-dimensional optical metamaterial with a negative refractive index. *Nature*. 455(7211), 376-379.  
 [2] Ni, X., Wong, Z. J., Mrejen, M., Wang, Y. & Zhang, X. (2015). An ultrathin invisibility skin cloak for visible light. *Science*. 349(6254), 1310-1314.  
 [3] Delgado, R. (2011). Características virológicas del VIH. *Enfermedades infecciosas y microbiología clínica*. 29(1), 58-65.