

Lo invisible hecho visible: la ciencia que nos deja ver



MARÍA FERNANDA MATA SALGADO Y
LINA ANDREA RIVILLAS ACEVEDO

La M. en C. Mata Salgado estudió la Licenciatura en Ciencias (área terminal en Bioquímica y Biología Molecular) y la Maestría en Ciencias en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Es estudiante del Doctorado en Ciencias en el Centro de Investigación en Dinámica Celular (CIDC), donde investiga el efecto de la radiación UV en los cambios químicos y conformacionales de las cristalininas, proteínas involucradas en el desarrollo de las cataratas oculares.

La Dra. Rivillas Acevedo estudió la Licenciatura en Química en la Universidad de Antioquia, Colombia y el doctorado en el Instituto de Química de la UNAM. Realizó una estancia postdoctoral en el Departamento de Química del CINVESTAV. Actualmente es Investigadora del CIDC-UAEM. Sus líneas de investigación incluyen el estudio del efecto de la radiación UV en el desarrollo de cataratas oculares.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Hace algunos años, caminando por la orilla de la playa algo nos rozó los pies. Nos agachamos para ver qué era, pero no había nada. Nos quedamos mirando el agua por unos minutos, hasta que un rayo de sol rebotó en las escamas plateadas de un pez y pudimos verlo, era completamente transparente. Esta experiencia nos hizo pensar en la transparencia, algo normal y cotidiano en vasos, ventanas, lupas y otras cosas fabricadas por el hombre, pero que olvidamos que también está en la naturaleza. La transparencia es un fenómeno que nos rodea cotidianamente. Según la

Real Academia de la Lengua, un cuerpo transparente permite ver los objetos con nitidez a través de él. Con esta idea en mente, es fácil imaginar ejemplos como el vidrio de una ventana, una botella de plástico, el hielo o unos lentes. De hecho, la humanidad aprovecha esta propiedad para hacer su vida más cómoda. Basta pensar en la vitrina de una cafetería, que nos permite ver el menú del día sin necesidad de entrar. Los humanos sólo podemos ver la luz visible, pero también hay objetos transparentes a otros tipos de luz sobre la que hablaremos más adelante.

La danza de la luz con la materia.

Para entender qué está pasando realmente cuando algo es transparente, tenemos que hablar de la protagonista de esta historia, la luz. Aquí viene uno de esos datos que suenan a ciencia ficción pero no lo es: la luz tiene doble personalidad, pues puede comportarse como onda y como materia. A esta doble personalidad se le conoce como la dualidad de la luz. Con una analogía esquemática, la luz como onda se puede describir como olas invisibles viajando por el espacio; como materia la podemos considerar como pequeñas partículas llamadas fotones. Además de ser dual, la luz tiene diferentes energías, y en la luz visible esta energía está ligada a su color, el azul es la luz más energética y el rojo la menos energética. Entonces, podemos imaginar los diferentes colores de la luz como pelotas de billar, la pelota azul es una bola lanzada con mucha fuerza y la pelota roja es una bola lanzada con poca fuerza. Así, la luz azul tiene más energía que la luz roja. La teoría que describe el comportamiento de la luz como onda se conoce como modelo o teoría ondulatoria, mientras que el modelo cuántico la describe como partícula. La interacción de la luz con la materia puede provocar diferentes fenómenos, dependiendo de la energía de la luz y de la naturaleza de la materia,

y para entender esta interacción se debe usar un modelo o el otro. El modelo cuántico permite explicar el fenómeno de *absorción*, en el cual, la luz se comporta como una pelota diminuta que al chocar con la materia le entrega toda su energía temporalmente. Un ejemplo son las pegatinas fosforescentes que necesitan absorber la luz para luego brillar. Por otro lado, el modelo ondulatorio permite explicar otros fenómenos como la *dispersión*, en la cual la luz se encuentra con la materia y se separa en los diferentes colores que la componen. Un ejemplo cotidiano es la formación del arcoíris. Otro fenómeno es la *reflexión*, en donde, al entrar en contacto con el objeto la luz cambia de dirección, como cuando choca contra un espejo y rebota. Otro escenario puede ser el fenómeno de *refracción*, en el cual la luz experimenta un cambio leve de dirección cuando pasa de un material a otro, por ejemplo del aire al agua. Por la refracción, al meter un lápiz al agua vemos que parece torcerse. Todo esto indica que la percepción del mundo es el resultado de una compleja interacción de la luz con la materia, como una danza. Ahora, si pensamos en todo lo que tiene que pasar para que un objeto sea transparente, es claro que algo que consideramos cotidiano, en realidad es un fenómeno complejo y sorprendente.

Entre la velocidad y la ilusión: la refracción

La velocidad y la dirección de la luz cambian cuando pasa de un material a otro, a este fenómeno se le conoce como refracción. Una manera de imaginarlo es

pensar en las ondas de luz como un grupo de corredores que avanza sobre pavimento y de pronto entran en una zona arenosa. Los corredores que pisan primero la arena disminuyen su velocidad y tienen más dificultad para continuar en línea recta. No todos los materiales afectan la velocidad y la trayectoria de la luz de la misma manera, algunos apenas la modifican, mientras que otros la desvían de forma más notable. La capacidad de un material para cambiar la velocidad y la dirección de la luz se describe con una propiedad llamada *índice de refracción*. Algunos materiales tienen índices de refracción parecidos, como el del aire que es cercano a 1.0, y el del agua que es aproximadamente 1.33. Por eso, cuando la luz pasa del aire al agua, su velocidad cambia poco (de casi 300,000 km/s, a cerca de 225,000 km/s) y los rayos mantienen trayectorias casi rectas. Esta semejanza en los índices de refracción es lo que permite la transparencia. En el caso de ventanas y vitrinas, que tienen un índice de refracción de 1.52, la luz cambia de medio y regresa nuevamente a viajar en el aire, por esta razón la desviación de la luz es mínima y no notamos la distorsión.

Por el contrario, entre más grande es la diferencia en el índice de refracción, más se desvía la luz al atravesar el material. Por eso cuando pensamos en los tejidos biológicos, es complicado encontrar un ejemplo completamente transparente. Esto se debe a que están formados por una mezcla de sustancias como proteínas, lípidos, carbohidratos, entre otros, que tienen distintos índices de refracción, haciendo que las ondas de luz cam-



FIGURA 1. EJEMPLOS DE organismos marinos que presentan transparencia total o parcial. En la fila superior, de izquierda a derecha: calamar de cristal, medusas y salpas. En la fila inferior: rana de cristal, libélula y mariposa de cristal. Imágenes obtenidas de Wikipedia, National Geographic — medusas, National Geographic — salpas, <https://kids.nationalgeographic.com/animals/amphibians/facts/reticulatedglassfrog>, <https://santandernatural.es/recursos/especies-stv/a-imperator-stv/> y <https://www.muyinteresante.com/naturaleza/29660.html>, respectivamente.

bien de velocidad y dirección constantemente. El resultado es que la luz termina dispersándose en varias direcciones y pierde la trayectoria recta que permitiría la transparencia.

Además, los tejidos vivos no son estáticos, es decir, las células y sus componentes están en constante movimiento. Esto significa que la forma en la que la luz se desvía cambia de un momento a otro, volviendo todavía más difícil que la luz logre atravesar el tejido sin alterarse. Por eso, a diferencia de un vidrio o del agua cristalina, los tejidos no permiten ver lo que hay dentro de ellos.

Pero entonces, si es tan difícil que un organismo sea transparente, ¿existe alguno en la naturaleza? Sorprendentemente sí. Y si nos metemos en el campo de la biología marina, la lista es larga, por ejemplo, son transparentes el calamar de cristal, las medusas, los camarones fantasma o de cristal y el pez duende, entre otros (Figura 1). La razón de encontrar tantos ejemplos en el mar es que la transparencia funciona como estrategia de supervivencia, pues en un entorno abierto y sin escondites, volverse invisible al ser transparente, marca la diferencia entre vivir o ser comido.

Estos animales marinos son transparentes porque sus tejidos tienen un índice de refracción muy parecido al del agua. Para lograr esto, los tejidos de estos animales están formados por células con pocos componentes y con mucho fluido transparente. Si comparamos los tejidos de estos animales transparentes con

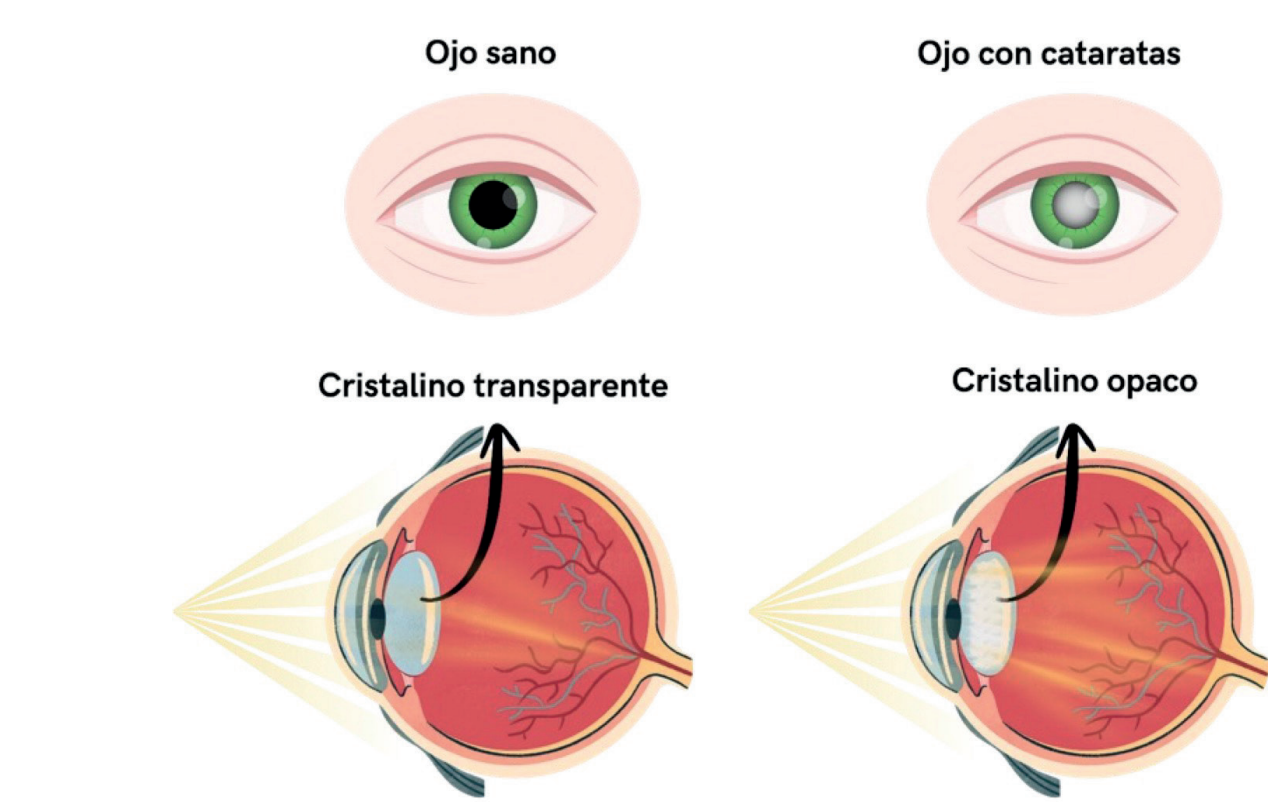


FIGURA 2. COMPARACIÓN del ojo y del cristalino sano vs. afectado por cataratas. En la parte superior se muestran un ojo sin cataratas y un ojo con cataratas. En la parte inferior se ilustran las diferencias en la trayectoria de la luz al atravesar un cristalino sano frente a un cristalino con agregación de proteínas. Imagen realizada en CANVA

sol

Hasta ahora hemos hablado de la luz como si fuera una sola cosa, pero en realidad es más complicada. La luz solar incluye muchos tipos de radiación: ondas de radio, microondas, luz visible, radiación infrarroja, ultravioleta (UV), entre otras. Nosotros solo vemos una pequeña parte, la luz visible y sentimos otra, la infrarroja, como calor en la piel. Sin embargo, estamos expuestos a todas las radiaciones que vienen del sol. En pequeñas dosis la radiación UV es útil, pues gracias a ella producimos vitamina D, que es fundamental para tener huesos sanos, pero en exceso puede dañar seriamente nuestros tejidos.

En el mar esto no es un problema, porque el agua funciona como un filtro natural que bloquea gran parte de la radiación UV. Pero en la tierra no tenemos esa protección, así que los organismos desarrollaron pigmentos especiales, como la melanina, que absorbe la radiación UV y evita que cause daños. El costo es que esos pigmentos arruinan cualquier intento de invisibilidad. Aun así, fuera del agua encontramos organismos con partes transparentes, como las alas de la mayoría de los insectos y el abdomen de la rana de cristal de sudamérica (Figura 1).

El cristalino: guardián de la transparencia

Todos los animales vertebrados y algunos invertebrados como los cefalópodos, que incluyen pulpos, calamares y sepias, tenemos un tejido totalmente transparente en los ojos, el *cristalino*. Este tejido es muy especial pues al inicio de la existencia, cuando aún estamos en el vientre materno, el cristalino “renuncia” a casi todas las funciones normales de un tejido, por lo que no puede repararse, ni producir más proteínas ni lípidos... ni nada. Suena como que el cristalino es un tejido flojo, pero en realidad es algo maravilloso, al dejar de lado todas esas “máquinas” internas, puede

cumplir con su misión principal, ser totalmente transparente para que la luz lo atraviese y podamos ver. Y todavía hay más, al ser transparente y no poder repararse ¿cómo se protege de la radiación UV? Pues gracias a que está compuesto principalmente por proteínas llamadas *cristalininas*. Ellas funcionan como un saco de boxeo, absorben los “golpes” de la radiación ultravioleta y evitan que el resto del tejido se dañe.

El problema aparece cuando estas proteínas, por acumulación de “golpes”, empiezan a perder la forma y se amontonan. El resultado es que el cristalino pierde orden, cambia su índice de refracción y deja de ser transparente. Ahí aparece una enfermedad bastante famosa llamada *cataratas*, en la que un tejido completamente transparente se convierte en un tejido opaco que impide que la luz llegue a la retina y provoca la pérdida progresiva de la visión (Figura 2). El desarrollo de esta enfermedad se ha relacionado con el envejecimiento, debido al daño acumulado en las proteínas del cristalino. Sin embargo, existen muchos factores de riesgo como la radiación UV, el tabaquismo, la diabetes, algunos fármacos y ciertos iones metálicos. Si esto no fuera poco, además del paso del tiempo y la exposición al sol, algunas personas reciben una ayuda poco deseada de la genética y desarrollan cataratas hereditarias en edades tempranas.

Las cataratas son la principal causa de ceguera en el mundo. Según datos del Gobierno de México, hasta 2024 se estimaba que alrededor de 760 mil personas viven con cataratas y que cada año hay 47,600 casos nuevos. (<https://www.gob.mx/salud/prensa/estrategia-nacional-de-cirugia-de-catarata-ver-por-mexico>). Aunque existe una cirugía que cambia el lente o cristalino ocular dañado por uno sintético, una de cada tres personas que padecen cataratas no

puede pagarla. Esta es una problemática global y distintos gobiernos han implementado estrategias para atenderla. En México, por ejemplo, se puso en marcha la Estrategia Nacional de Cirugía de Catarata “Ver por México” que busca ofrecer cirugías gratuitas en las 32 entidades federativas a mexicanos y mexicanas mayores de 60 años con cataratas diagnosticadas. Para registrarse, se puede ingresar con un código QR (Figura 3). A pesar de estos esfuerzos, este problema sigue siendo latente, y aún hay muchas personas que no tienen acceso a esta cirugía. Por eso, además de buscar nuevas estrategias para tratar la enfermedad, es urgente entenderla mejor, ya que todavía no se sabe con exactitud qué cambios sufren las proteínas de la Radiación Ultravioleta. *PaCiencia PaTodos*, 15, 65-70. <https://publicaciones.aragon.unam.mx/ojs/index.php/paciencia/article/view/20>

Registro para la Estrategia Nacional de Cirugía de Catarata “VER POR MÉXICO”



FIGURA 3. CÓDIGO QR para el registro a la Estrategia Nacional de Cirugía de Catarata.

Después de todo este recorrido entre vidrios, calamares de cristal, radiación ultravioleta y hasta enfermedades como las cataratas, queda claro que la transparencia no es tan simple como mirar a través de una ventana. En nuestro caso, para mirar por la ventana necesitamos verdaderas heroínas microscópicas, las proteínas cristalininas. Ellas son las que hacen posible que el cristalino del ojo sea transparente y la luz pueda viajar hasta la retina para que veamos con claridad. Y aunque con el tiempo pueden fallar, su existencia

nos recuerda que hasta en algo tan pequeño como una proteína, puede estar escondido un mecanismo perfecto que sostiene algo tan grande como nuestra capacidad de ver el mundo. Así que la próxima vez que te pongas unos lentes de sol, mires por una ventana o estés nadando en el mar rodeado de peces invisibles, acuérdate de que la transparencia es mucho más que un truco de la naturaleza, es ciencia pura trabajando en silencio para regalarnos la vida tal como la conocemos.

Referencias

- Big Van, c. s. r. (2016). *Cómo explicar física cuántica con un gato zombi*. ALFAGUARA IJC.
- Borges-Rodríguez, Y., & Rivillas-Acevedo, L. (2024). Los peligros de la Radiación Ultravioleta. *PaCiencia PaTodos*, 15, 65-70. <https://publicaciones.aragon.unam.mx/ojs/index.php/paciencia/article/view/20>
- Gomez, D., Pinna, C., Paireiraire, J., Arias, M., Barbut, J., Pomerantz, A., de Marcillac, W. D., Berthier, S., Patel, N., Andraud, C., & Elias, M. (2021). Wing transparency in butterflies and moths: structural diversity, optical properties, and ecological relevance. *Ecological monographs*, 91(4). <https://doi.org/10.1002/ecm.1475>
- López de Haro, M., & Tagüña, J. (2025). Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas. *La Unión de Morelos*, 3 de marzo de 2025. <https://www.acmor.org/publicaciones/a-o-internacional-de-la-ciencia-y-la-tecnologia-a-cu-nticas>
- Wenner, M. (2009). The most transparent research. *Nature Medicine*. <https://doi.org/10.1038/nm1009-1106>

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos.