

Naturaleza con vestido azul

Lydia Rivaud y Julia Tagüeña

Las plumas no sólo les permiten a los pájaros volar, sus colores vistosos les sirven para el cortejo. Los colores de los pájaros, y en particular los de plumaje iridiscente, son consecuencia de la evolución y la selección de complejas estructuras adaptativas.



AL O LARGO de millones de años de evolución, la naturaleza ha manejado el color con increíbles resultados. Al mismo tiempo ha creado misterios: por ejemplo, al comparar el colorido de las aves que vuelan con los apagados y opacos tonos de muchos animales terrestres, especialmente los mamíferos, uno podría preguntarse: ¿por qué no hay venados verdiazules? La respuesta tiene que ver con la estrategia del venado de confundirse con el paisaje y pasar inadvertido. La mayoría de los pájaros pueden escapar de sus enemigos levantando el vuelo, no necesitan ocultarse en un fondo de tonos ocres. El vuelo permitió que en muchas especies de pájaros se desarrollara un plumaje colorido para identificarse y atraer al sexo opuesto. El color les sirve a unos animales para ocultarse y a otros para llamar la atención.

Los colores pardos, rojos, amarillos y naranjas se deben a pigmentos que produce o ingiere el ave; y el azul y el verde iriscentes se deben a la interacción de la luz con la estructura microscópica de las plumas.

Isaac Newton fue el primero que hizo un estudio sistemático del color, en el siglo XVII. Haciendo pasar luz solar a través



de un prisma triangular de vidrio, observó que ésta se transformaba en un abanico de luz con todos los colores del arcoiris. Con esto Newton dedujo que la luz blanca está formada por la mezcla de rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta, y llamó *espectro* a este conjunto de colores. En la teoría de Newton, el color de un objeto se debe a la combinación de colores que refleja, y depende de factores propios del objeto, como la estructura del material de que está hecho, y de factores externos, como el color y la intensidad de la luz con que se lo ilumine.

El color del cielo

El azul es un color que ha intrigado a muchas civilizaciones y en varias culturas es símbolo de espiritualidad quizá porque es el color del cielo. El mecanismo que produce este último es el mismo que da por resultado el azul de los ojos y algunos azules del plumaje de las aves.

A John Tyndall, científico irlandés de la segunda mitad del siglo XIX, a quien le gustaba escalar montañas, le intrigaba el azul nítido del cielo alpino. En 1869, elaboró una explicación del color del cielo basada en principios físicos. Él sabía que la luz del Sol contiene todos los colores, como observó Newton, y notó que en un fluido con partículas suspendidas (por ejemplo, agua con una gota de leche), la luz se dispersaba según el tamaño de éstas: si las partículas eran relativamente grandes se producían rojos, naranjas y amarillos; y si eran más pequeñas, azules y violetas. En el caso del cielo, Tyndall supuso que el azul era consecuencia de que partículas diminutas dispersaban la luz, y el rojo, de que partículas de mayor tamaño la dispersaban. Pese a que el aire es completamente transparente, la difusión predominante del azul en la atmósfera da como resultado ese color azul que llega de todas direcciones. El fondo oscuro del espacio exterior intensifica el tono azul de la luz dispersada. La dispersión de la luz debida a partículas pequeñas se conoce como *efecto Tyndall*.

Unos años más tarde John William Strutt, Lord Raleigh, elaboró una ecuación que relaciona la intensidad de la luz dispersada por

una partícula con la longitud de onda de la luz incidente (la longitud de onda determina el color). Tyndall y Raleigh pensaban que las partículas dispersoras del azul en el cielo eran de polvo y gotas de vapor, pero más tarde se descubrió que eran las moléculas de oxígeno (O₂) y nitrógeno (N₂) atmosféricos.

Ojos azules

El azul en los ojos también se debe a que el componente azul de la luz blanca se dispersa en el iris. Para que esto ocurra hace falta que en el iris haya partículas de tamaños comparables a la longitud de onda de la luz azul (400 nanómetros, o poco menos de media milésima de milímetro). Ésta fue la explicación de Hermann von Helmholtz en 1866. Para entender el mecanismo que produce el color celeste en los ojos es necesario describir brevemente la anatomía del iris.

El iris está formado de dos capas: la interior se llama *epitelio pigmentado* y la que la cubre *estroma*. Las células del epitelio tienen forma de cubitos y se hallan emplazadas como una pared de tabiques; están pigmentadas con melanina, el pigmento biológico que da también color a la piel, al pelo, a las plumas y a las escamas. El estroma está compuesto por células fibrosas entretejidas con pequeñas partículas de proteína y granos de melanina que forman la red elástica que posibilita que la pupila se contraiga y se dilate. Las partículas de proteína atrapadas en las fibras del estroma tienen dimensiones compatibles con la dispersión de la componente azul de la luz. Si el estroma tiene una alta concentración de granos de melanina, éstos absorben la luz azul dispersada por las partículas de proteína y los ojos se ven cafés. Pero el estroma puede carecer de melanina por motivos genéticos y entonces el azul dispersado surge del iris y los ojos se ven azules. La intensidad del azul es reforzada por la capa oscura de melanina del epitelio, de la misma manera que el

fondo oscuro del espacio refuerza la intensidad del azul del cielo.

Pájaros azules

Como se dijo antes, los colores pardos, rojos, amarillos y naranjas en los pájaros se deben a pigmentos que producen o ingieren. Si moliéramos una pluma azul o verde

obtendríamos un polvo gris, porque el azul y el verde en los pájaros no son pigmentos. Estos colores se deben a que en la estructura de su plumaje se produce una dispersión preferencial del componente azul de la luz blanca.

El compuesto principal de las plumas es la queratina; es ideal para las alas porque es ligera, flexible y resistente. La queratina forma también el pelo, las uñas, los cuernos y el exoesqueletos de los insectos. Es ligera porque contiene burbujas de aire de tamaño ultramicroscópico. Éstas tienen dimensiones compatibles con la dispersión de la luz azul y pueden producir el efecto Tyndall, como las moléculas de gas en la atmósfera y las partículas de proteína en el estroma del iris. La parte queratinosa del ala contiene también granos de melanina incrustados en la base para reforzar su estructura. Todos los colores, excepto el azul dispersado por las burbujas de aire, son absorbidos por esta capa basal de melanina. El fondo de melanina funciona de la misma manera que el fondo oscuro del espacio y el epitelio del iris ocular; es decir, intensifica el azul difuso dispersado.

Dime qué comes y te diré de qué color eres

El color de muchas aves se debe a lo que ingieren. Por ejemplo, los flamencos son rosas por los crustáceos que comen. Si éstos desaparecen de su dieta, los flamencos se vuelven blancos. El color rojo intenso del cardenal se debe a que come plantas que contienen caroteno, sustancia que da tonos rojos, anaranjados y amarillos a frutas y vegetales como la zanahoria. El caroteno también es responsable de que la langosta y los camarones se vuelvan rojos al cocinarlos.



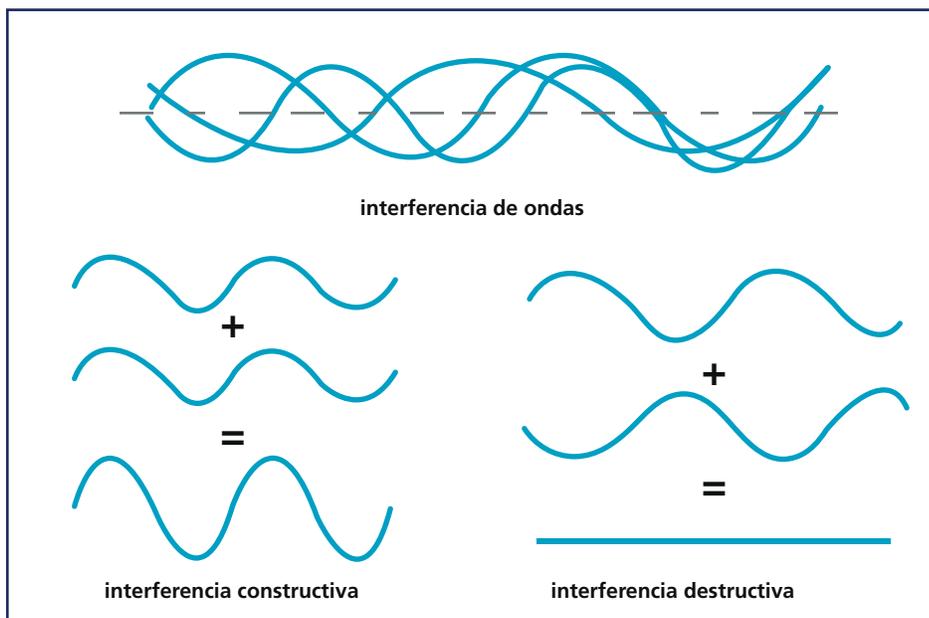
Iridiscencia: colores dinámicos

Pero en la naturaleza no sólo hay estructuras que interactúan con el componente azul de la luz blanca. Muchas especies de aves para las que el color es una forma de comunicación exhiben en su plumaje otros colores espectaculares que les funcionan para identificarse como miembros de una especie. Por ejemplo, el quetzal, cuya belleza impresionó tanto a los mayas que lo consideraron un ave sagrada, posee colores brillantes de tono metálico. También sucede con otras aves, como el colibrí y el pavo real, que despliegan un amplio espectro de colores. Lo que sucede con estos colores es que cambian según el ángulo de observación y, entonces, una sola pluma puede exhibir para quien la vea desde determinado lugar, diferentes colores del arcoiris; por eso se les llama *iridiscentes*. Un colibrí en vuelo a la luz del sol se puede ver verde o azul, y a la sombra se ve pardo. Esta característica le permite al colibrí esquivar a sus enemigos, pues un halcón, por ejemplo, difícilmente puede enfocar su atención en una presa que cambia continuamente de color. También se observa este efecto en muchos insectos, como algunas moscas y ciertos escarabajos.

Como pompas de jabón

La iridiscencia tiene una explicación lógica; el descubrimiento newtoniano de la descomposición de la luz es la clave, pero hay que añadir que los rayos luminosos se *reflejan* y se *refractan* cuando cambian de medio, por ejemplo, cuando pasan del aire al agua, o viceversa.

Thomas Young, en 1801, aplicó la teoría ondulatoria de la luz para elaborar una explicación de los colores iridiscentes que se producen en una pompa de jabón. Cuando un rayo de luz cae sobre una película transparente delgada, como la superficie de una pompa de jabón, parte de la luz se refleja



en la superficie exterior de la película. El resto penetra en la capa, se desvía un poco (se refracta) y luego se refleja en la superficie interior. El resultado es luz que se compone de los rayos reflejados por la capa exterior más los rayos reflejados por la capa interior. Debido al paso por la película delgada, éstos últimos han recorrido, al salir, una distancia ligeramente mayor. Como consecuencia, las ondas de luz se retrasan un poco (se dice que se desfasan). Los distintos colores que componen la luz blanca se refractan de maneras distintas, unos más, otros menos. Al emerger, las ondas de luz se combinan de tal manera que donde coinciden crestas con crestas o valles con valles la intensidad de la luz se refuerza (hay interferencia constructiva) y donde se superponen crestas con valles las ondas se anulan (interferencia destructiva). Así, desde ciertos ángulos se verá salir de la película luz blanca a la que se le ha restado alguno de los colores que la componían: ya no es luz blanca. El color de la luz que refleja la película delgada dependerá, entre otras cosas, del ángulo desde el que la observemos y cambiará al desplazar el observador la vista.

Al igual que en una pompa de jabón, las plumas de los pájaros adquieren a la vista colores iridiscentes por la interferencia constructiva

de una onda reflejada. Se puede decir que la pluma “selecciona” un color del espectro de la luz por su estructura. Ésta se debe a que la queratina, los poros de aire y los granos de melanina que constituyen las plumas forman una red ordenada en tres dimensiones. En ella se alternan capas de queratina, melanina y aire. El grosor de estas capas es conmensurable con todas las longitudes de onda del espectro visible por lo que se puede producir interferencia constructiva de todos los colores del espectro. Sin embargo, los azules y verdes predominan como colores iridiscentes en las plumas porque la melanina absorbe las longitudes de onda más largas.

Hoy en día, la comprensión y el estudio del color en la naturaleza sirven de inspiración para modernos diseños ópticos en los llamados dispositivos fotónicos. En ellos se crean patrones de estructuras periódicas que manipulan el color a partir de su dimensión y separación, imitando modestamente a la naturaleza. 🦋

Para nuestros suscriptores

La presente edición va acompañada por una guía didáctica, en forma de separata, para abordar en el salón de clases el tema de este artículo.

La doctora en física Julia Tagüeña es investigadora del Centro de Investigaciones en Energía de la UNAM y titular de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia, también de la UNAM.

Lydia Rivaud es licenciada en física de la UNAM y doctorada en metalurgia de la Universidad de Illinois en Champaign-Urbana (EUA). Actualmente trabaja como investigadora de pigmentos iridiscentes en la compañía Engelhard y es residente del estado de Nueva York.