

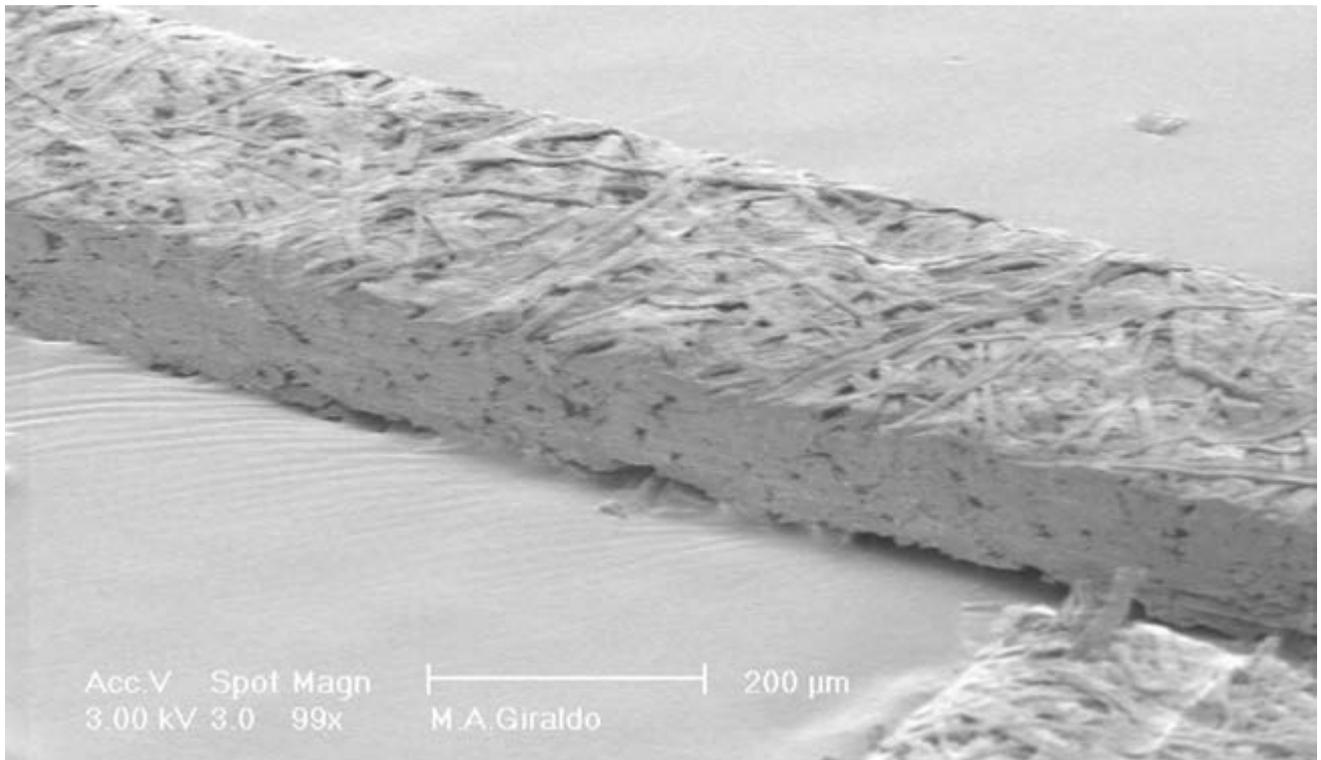


ALAS IRIDISCENTES: INGENIERÍA FOTÓNICA NATURAL

Por: Marco Antonio Giraldo*

Una de las áreas de trabajo del Grupo de Biofísica, del Instituto de Física de la Universidad de Antioquia, es la biofotónica, consistente en el estudio de la interacción de la luz con los sistemas biológicos. Ha dedicado sus investigaciones, en particular, a los colores de las alas de las mariposas.

*Físico y profesor de la Universidad de Antioquia. Doctor en física de la Universidad de Groningen (Holanda). Es coordinador del grupo de Biofísica de UdeA. Ha estudiado el color y las estructuras de las alas de mariposas. Sus líneas de investigación son el modelamiento en fisiología celular, sistemas dinámicos y proteómica, biomimética y colorimetría.



Corte de un trozo de papel blanco visto a través de un microscopio electrónico de barrido. Las fibras de celulosa se superponen y generan una superficie rugosa, intrincada, que dispersa en todas direcciones la luz que le llega. Como resultado, al iluminarla con luz blanca, se ve blanca, o porque tenga un pigmento blanco, sino precisamente por la ausencia de pigmento y la estructura desordenada de su superficie. Fotografía cortesía Grupo Biofísica.

El Grupo de Biofísica ha estudiado durante varios años la relación entre las propiedades ópticas que presentan algunos interesantes organismos y su estructura micro- y nanoscópica. Las mariposas, en particular, han sido fuente de interesantes descubrimientos, debido a sus muchos colores y a las variadas estructuras que componen sus alas.

Diversos montajes de sistemas ópticos, microscopios convencionales, microscopios electrónicos de barrido y de transmisión, y modelos computacionales, permiten conocer los secretos de las mariposas, esos ingenieros fotónicos naturales.

El color juega un rol muy importante en la naturaleza. A lo largo de millones de años, plantas y animales han aprendido a metabolizar pigmentos muy variados y a crear estructuras microscópicas que les permiten mostrar patrones de color muy elaborados. La fuente del color en la naturaleza es la luz solar, que se compone de todos los colores, y por eso la vemos blanca. Cuando ésta incide sobre una superficie rugosa que no tiene ningún pigmento, vemos el objeto de color blanco. Es decir, la superficie dispersa todos los colores y sin una dirección privilegiada. Si el objeto no es rugoso, sino liso, se comporta como un espejo y la luz se refleja en una dirección que corresponde a un ángulo que cumple la ley de reflexión: el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

En general, las estructuras naturales siempre presentan algo de estos dos tipos de comportamiento, es decir, son en parte difusos y en parte especulares. Tomemos por ejemplo una hoja de un árbol de mango, muy común en nuestra ciudad. Si la volteamos en diferentes direcciones veremos que es lisa y refleja la luz de manera especular, aunque también dispersa algo de la luz en todas las direcciones. Como resultado, la vemos verde desde cualquier dirección. Y la vemos verde porque es justamente ese color el que no absorbe. La clorofila que la compone absorbe los colores rojo, naranja, y azul, violeta e índigo, pero no el verde y el amarillo que se encuentran en la zona media del espectro electromagnético.

Cuando un color es creado solo por pigmentos, se llama *pigmentario* o *químico*, mientras que si es creado solo por la estructura de la superficie, se llama *estructural* o *físico*. Puede parecer extraño al principio hablar de un color generado solo por la estructura de los cuerpos, pero en realidad es más común de lo que parece. Cuando vemos los colores formados por una pompa de jabón, o una capa de aceite sobre agua, o una mariposa de azul metalizado, estamos viendo colores físicos. No hay pigmentos involucrados en ese color. El fenómeno responsable por la mayor parte de ese tipo de colores es bien conocido en óptica y se llama "de capa delgada". Cuando se forma una capa muy delgada (del orden

de la longitud de onda de la luz visible, o sea, media milésima de milímetro), en medio de dos materiales de diferente naturaleza óptica (por ejemplo, una capa de aceite sobre agua con aire por encima) podemos decir que hay dos interfases, una aire-aceite y otra aceite-agua. Es conocido que cuando la luz cambia de medio, parte se refleja y parte se transmite; así que tenemos dos reflexiones de luz para nuestro sistema.

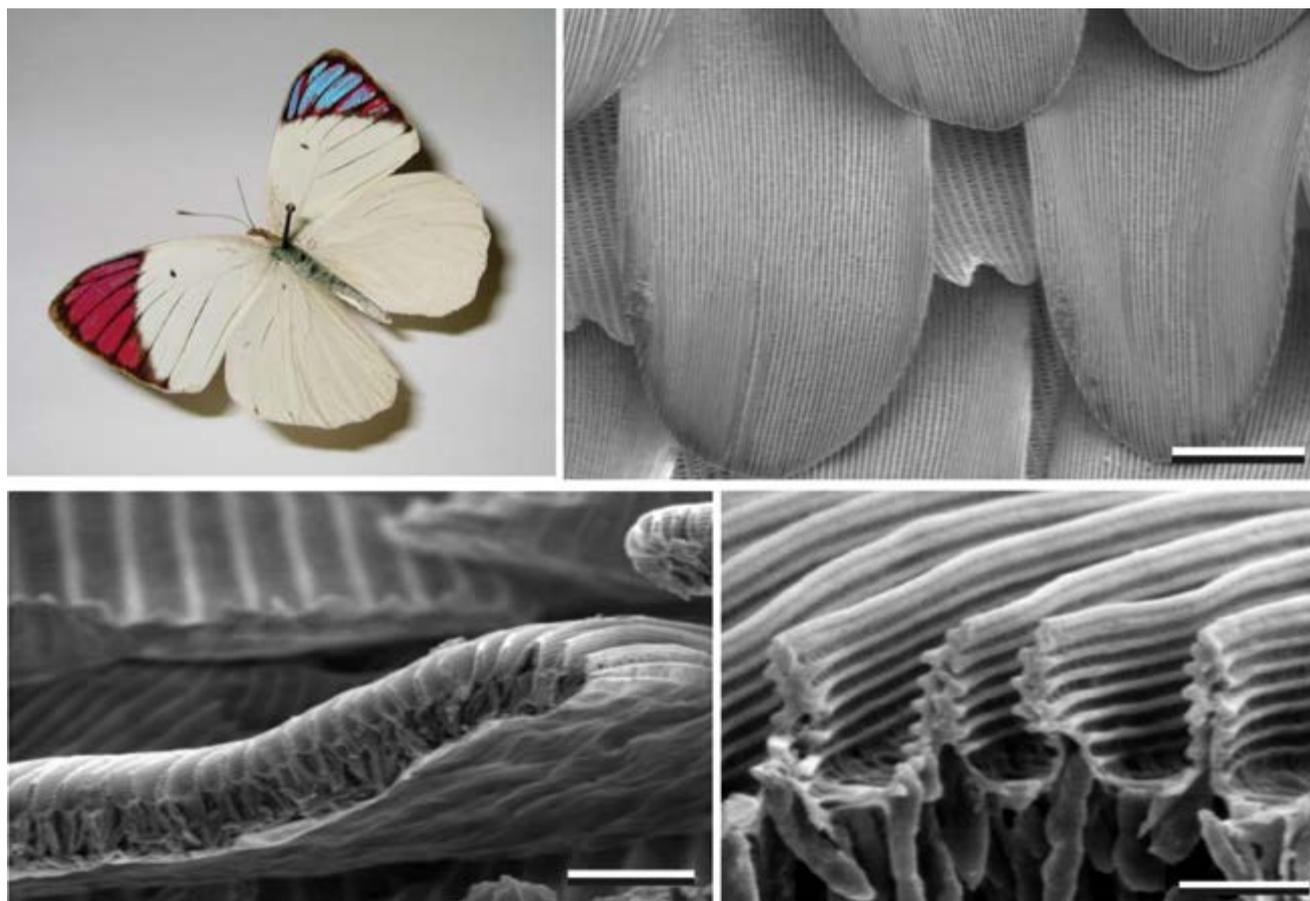
También sabemos que la luz es una onda, y por lo tanto puede caracterizarse por su longitud de onda que es una cantidad física relacionada con la oscilación del campo magnético del que se compone la luz. Pues bien, la luz reflejada en la interfaz superior se encontrará en nuestros ojos con la reflejada en la inferior. Dependiendo del grosor de la capa, se encontrará cresta con valle o cresta con cresta. En términos físicos decimos que las ondas se encontrarán en contrafase o en fase,

respectivamente. Veremos entonces el color para el cual se encuentran en fase las dos partes reflejadas. En estructuras que involucran capas de líquidos, el color cambia constantemente debido a que el grosor de la capa también cambia, por la naturaleza misma del fluido. En contraste, si la capa es sólida, como en muchos animales, el color es permanente.

La iridiscencia es muy común en la naturaleza. Podemos verla fácilmente en insectos, aves y peces, e incluso en plantas.

La mariposa *Colotis regina* tiene sus alas blancas con puntas violetas. El violeta es el resultado de un azul generado por un

fenómeno de capa delgada más un rojo pigmentario. Dependiendo del ángulo con el que se ilumine el ala, se verá el azul o no. Llamamos a este fenómeno *iridiscencia*. El estudio anatómico del ala de una mariposa nos permite descubrir las escamas que cubren el ala propiamente dicha, la cual es muy delgada y generalmente transparente. Cada escama tiene un color específico que al verlo desde lejos, como en un cuadro puntillista, forma el patrón de



Mariposa *Colotis regina*. Las escamas que cubren el ala pueden verse mejor con un microscopio electrónico de barrido. Al estudiar un corte transversal de las escamas, puede verse una estructura de capas delgadas. El grosor de cada capa es igual y justamente el preciso para que se presente interferencia constructiva de la luz. Fotografía cortesía Grupo Biofísica.



Mariposa Morpho. Fotografía Lina Margarita Hernández Miranda

La misma nanoestructura de multicapas de la mariposa de puntas violeta se encuentra en las mariposas Morpho, que ha inspirado notorios desarrollos tecnológicos. El área que investiga dichas aplicaciones se llama Biomimética.

color observado. Al usar el microscopio electrónico se logran ver estructuras de menor tamaño. Las escamas tienen surcos sobre su superficie que las recorren a lo largo de su eje mayor; estos surcos están conformados por un sistema de capas delgadas que generan color azul por interferencia constructiva de la luz reflejada. Es decir, el efecto antes descrito se multiplica por el efecto de cada capa.

La iridiscencia es muy común en la naturaleza. Podemos verla fácilmente en insectos, en aves, en peces, e incluso en plantas. La paloma doméstica, *Columba livia*, presenta iridiscencia en su cuello. Las plumas que lo cubren se forman de bárbulas que almacenan esferas de melanina, cubiertas por una capa delgada transparente que genera color estructural de manera similar a la mariposa de puntas violeta. El papel de la melanina es absorber la luz que no interfiere constructivamente (que no está en fase) y evitar que sea dispersada por el resto

de las estructuras del ala. Esta estrategia genera un mayor contraste. Como resultado el color es más vivo y puro.

Las mariposas *Morpho*, muy comunes en nuestro país, constituyen un grupo muy conocido debido a su gran belleza por el azul llamativo (iridiscente) que cubre casi toda la superficie de sus alas. La misma nanoestructura de multicapas de la mariposa de puntas violeta es hallada en esta mariposa que ha inspirado tantos desarrollos tecnológicos. El área que busca dichas aplicaciones a la tecnología, se llama Biomimética. Han surgido empresas que hacen fibras sintéticas para elaborar ropa sin pigmentos, y otras que crean pinturas de llamativos colores que hacen que un carro sea iridiscente, de un color cuando se acerca y de otro cuando se aleja. Y una multinacional de cosméticos ha creado productos que cambian el color y su intensidad con el ángulo de visión. Se han desarrollado también estructuras de multicapas para hacer sensores que alertan sobre los peligros de escape de gases nocivos en ambientes de laboratorio.

El trabajo actual del Grupo se centra en las mariposas *Morpho*. En este momento, el grupo de Biofísica estudia, con investigadores del departamento de Física Computacional de la Universidad de Groningen, en Holanda, la evolución del color y las estructuras que lo generan en estas hermosas mariposas.

Los temas en los que trabaja el Grupo plantean la importancia de una estructura presente en las

escamas de todas las mariposas *Morpho*, antes olvidada por otros investigadores, y por nosotros mismos, la cual funciona como una capa delgada, pero aislada. Siempre ha sido considerada la estructura de multicapas como única responsable por ese color azul iridiscente. Las investigaciones del Grupo han demostrado que algunas especies no tienen una estructura tan desarrollada en la lamina superior de las escamas, pero sí una sola capa delgada en la lámina inferior, que genera iridiscencia. Además, en algunas especies de *Morpho*, hay una combinación de las dos estructuras; multicapas en la parte superior de la escama y monocapa en la inferior. También se han medido los efectos ópticos de estos sistemas con montajes ópticos sofisticados, que nos permiten diferenciar unos y otros. Ahora, el Grupo está relacionando estos datos con la filogenia del género. Son resultados muy interesantes tanto por el fenómeno físico, como por las implicaciones biológicas. ✖

GLOSARIO

Melanina: pigmento que se encuentra en la mayoría de los seres vivos

Nanoscopía: técnica microscópica que permite estudiar estructuras de un tamaño de una millonésima de milímetro

Metabolizar: Transformación y asimilación de una sustancia mediante cambios fisicoquímicos en el organismo.

Especulares: Superficies o estructuras que reflejan la luz en un ángulo igual al de la incidencia.



La paloma común tiene plumas que poseen bárbulas que contienen esferas de melanina rodeadas por una capa fina transparente. El efecto colorido de capa delgada es aumentado por el contraste generado por la absorción de los colores que no interfieren constructivamente. Fotografía cortesía Grupo Biofísica.