

Los colores estructurales en la naturaleza y la cerámica Rakú

The structural colors in the Nature and the Rakú ceramics

Por: *Francisco Hernández-Chavarría y Carmen Aguilar*
Facultad de Microbiología y Centro de Investigación en Estructuras
Microscópicas (CIEMic) y *Escuela de Artes Plásticas, Universidad de Costa Rica, San*
José, Costa Rica

franciscohernandez@ice.co.cr

*Ahí pudo constatar que, en efecto,
el espejo se había vuelto nebuloso,
como una bruma plateada que
se disolvía al contacto de sus manos.*

*Alicia a través del espejo
Lewis Carroll*

Resumen

De acuerdo con la física de Newton, la luz visible o luz blanca es un conglomerado de longitudes de onda entre 400 y 700 nm; esos valores corresponden al violeta y el rojo, respectivamente y entre ellos están contemplados todos los colores que podemos ver. Además, un objeto o un pigmento, exhibe un determinado color debido a que refleja la correspondiente longitud de onda y absorbe el resto. No obstante, en la Naturaleza, hay otro tipo de colores, no asociados a pigmentos, que son denominados "colores estructurales", como aquellos que manifiestan algunas aves, insectos y peces. Esos colores son generados en nanoestructuras que descomponen la luz y reflejan solo una banda estrecha de longitudes de onda; por lo tanto, el matiz varía con el ángulo de observación; por esta razón, esos colores son descritos como iridiscentes. Algunas piezas de la cerámica Rakú muestran ese tipo de iridiscencia, posiblemente debido a fenómenos de la luz, como refracción, reflexión e interferencia, responsables de la coloración estructural en la naturaleza.

Palabras clave: Longitud de onda, color estructural, iridiscencia, interferencia, reflexión, refracción.

Abstract

According to Newton physics the visible light, or white-light, is a conglomerate of wavelength from 400 to 700 nm, those values correspond to violet and red, respectively, and between them are contemplated all the colors that we can see. An object, or a pigment, exhibits a determined color due to reflecting the corresponding wavelength and absorbing the rest. However, in Nature, there is another type of

colors, not associated to pigments, that are denominated "structural colors", as those manifested in some birds, insects and fish. Those colors are generated in nanostructures that decompound the light, reflecting only a narrow band of wavelength; thus, the hues change with the angle of observation; for this reason, those colors are described as iridescent.

Some pieces of the Rakú ceramic show this type of iridescence, possibly due to light phenomena, such as refraction, reflection, and interference, responsible for the structural colors in the nature.

Key words: wavelength, structural color, iridescence, interference, reflexion, refraction.

En este artículo damos una visión del concepto del color en términos de la física óptica newtoniana, dejando de lado las teorías que explican el color percibido según interacciones con los colores del entorno y con nuestra memoria¹. Hacemos hincapié solo en la longitud de onda asociada al color y con ella abordamos la coloración estructural o sea, aquellos colores que no corresponden a pigmentos y que en biología revelan los colores más hermosos y brillantes, exhibidos por algunos insectos, aves y peces. La coloración estructural se traduce en coloraciones iridiscentes, lo cual significa que cambian con la luz, pues su esencia es propiamente la luz descompuesta en nanoestructuras, que separan los distintos colores del espectro visible, tal como vemos en el arco iris².

Denominamos espectro visible al ámbito de longitudes de onda que nuestros ojos pueden percibir y que corresponde a una pequeña porción del espectro electromagnético, situada entre la luz ultravioleta y el infrarrojo. En términos generales, la energía electromagnética corresponde a ondas con un componente eléctrico y otro magnético, que se desplazan a la velocidad de la luz (300 000 Km/seg) y la diferencia fundamental entre ellas, es su longitud de onda, la cual se define como la distancia entre una cresta y el valle siguiente de una onda. Nuestros ojos son capaces de percibir las longitudes de onda entre los 400 y 700 nm (nm representa el nanómetro, que corresponde a la mil millonésima parte del metro, o sea a 9 posiciones a la derecha de la coma decimal). Esas longitudes de onda que percibimos, las interpretamos como colores, así, 400 nm corresponde al violeta y 700 nm al rojo, y entre ellos se sitúa toda la gama del arco iris o en términos pictóricos, del círculo cromático.

¹Jacobson N, Bender W. Color as a determined communication. IBM Systems Journal 35:526-38, 1996.

²Vukusic P. Natural Photonics. Physics World 35-39. February 2004.

Los colores en la naturaleza

Siguiendo con el concepto newtoniano de color, decimos que un objeto muestra determinado color, debido a que absorbe una serie de longitudes de onda y refleja solo aquella que percibimos como ese color; en pintura, eso se debe exclusivamente a pigmentos; por ejemplo, un pigmento azul refleja la longitud de onda correspondiente a este color y absorbe el resto. Pero, en biología la coloración puede ser más compleja, pues aparte de aquella debida a pigmentos, existe otra denominada estructural. La primera es más fácil de comprender, pues se debe a pigmentos; así, un animal, como por ejemplo, una mariposa, exhibe colores amarillos, debido a que tiene carotenoideos o sea, derivados químicos de la vitamina A, que equivalen a pigmentos amarillos; los cuales pueden extraerse químicamente, mediante un solvente apropiado. En cerámica se aplica una definición parecida para los pigmentos y por ende, para los colores que exhiben ciertos materiales; por ejemplo, el color de una roca se debe a que posee determinado pigmento, que en esencia corresponde a un metal, que aparece ya sea como óxido, carbonato u otro compuesto químico y por lo tanto, también puede ser extraído, ya sea mediante procesos químicos o físicos.

Por el contrario, los colores en la naturaleza, que no se deben a pigmentos, resultan más atractivos y los describimos con términos como iridiscentes o tornasolados, y son aquellos colores brillantes que cambian en una armonía de matices según el ángulo de observación. Un buen ejemplo, para comprender este concepto lo exponemos con la mariposa *Caligo*, que muestra colores azules, que incluso pueden desaparecer a nuestra vista, según el ángulo de observación, como se muestra en la figura 1, en la cual aparece el ala fotografiada en dos ángulos distintos; en uno, se aprecia la coloración iridiscente y al inclinarla desaparece ese color, para mostrar solo el pardo de fondo.

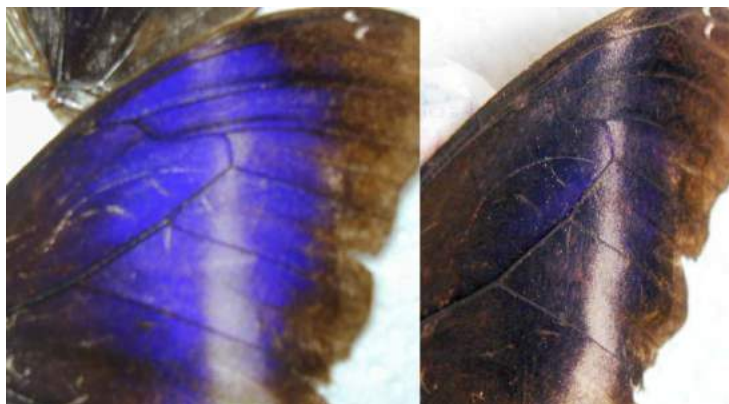


Figura 1: Alas de la mariposa Caligo sp. En la fotografía de la izquierda se aprecia la coloración azul correspondiente al color estructural, mientras que ese color desaparece en la fotografía de la derecha, tomada con una ligera inclinación con respecto a la anterior.

El término "coloración estructural", se debe a que no corresponde a pigmentos, sino, a nanoestructuras que difractan la luz, cancelando la mayoría de las longitudes de onda del espectro visible y dejando que emerja solo un estrecho ámbito, que se traduce en colores brillantes y cambiantes en una armonía de análogos, que puede ser muy amplia, como en el ejemplo de la mariposa *Caligo*, que abarca desde un azul claro hasta un violeta; estos colores brillantes y cambiantes son los que denominamos iridiscentes. Ese tipo de coloración también lo tenemos en materiales u objetos construidos por el hombre, como los hologramas de algunas tarjetas de crédito o los colores que se observan en la superficie de un disco compacto. También, estos son los colores que se aprecian en una mancha de aceite sobre el pavimento mojado.

El sueño de muchos artistas plásticos puede ser la manipulación de esos colores estructurales para incorporarlos a una obra; pero, las limitaciones técnicas actuales solo permiten acercamientos, como ocurre con veladuras que intentan atrapar brillos y crear atmósferas especiales; por otro lado, las pinturas de pájaros como los quetzales o colibríes, resultan de un color plano, debido a la imposibilidad de atrapar la iridiscencia de esas aves en el lienzo. Sin embargo, en la cerámica tipo Rakú si se ha logrado captar o crear coloraciones iridiscentes.

Para comprender mejor este tipo de color, analicemos brevemente los fenómenos físicos involucrados en su naturaleza, como son la reflexión, refracción y la interferencia de la luz, usando el ejemplo de la mancha de aceite sobre el pavimento mojado.

La explicación física de los colores iridiscentes

Con el ejemplo de la mancha de aceite podemos analizar fácilmente los fenómenos físicos de la luz, que crean los colores iridiscentes: Primero, debemos comprender que esa mancha de aceite constituye una película delgada y transparente, con un grosor o profundidad determinada y que en los bordes es más delgada que en el centro. Por otro lado, el asfalto mojado actúa como espejo, lo mismo que la propia superficie de la película de aceite. Así, cuando un haz de luz incide sobre esta película, una parte se refleja y otra penetra, pero, esta última se refracta, esto es que cambia su trayectoria, pues el aceite tiene un índice de refracción diferente que el del aire; cuando ese rayo llega hasta el fondo de la película, choca contra el espejo del fondo, representado por el

pavimento mojado, y se vuelve a reflejar, obviamente dentro del aceite y al salir de este hacia el aire, se vuelve a refractar; este último rayo que emerge, por haber hecho todo ese recorrido dentro de la película de aceite, está desfasado con respecto al componente de otro rayo, que se refleja en la superficie del aceite, como se muestra en la figura 2.

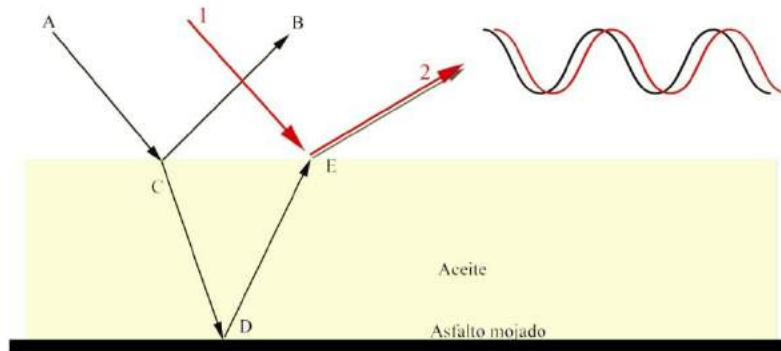


Figura 2. Interacción de la luz en una gota de aceite sobre el asfalto mojado. El rayo A incide sobre la superficie del aceite y el componente B se refleja; pero C penetra retractándose (se aparta de su trayectoria) e incide en el fondo, donde se refleja (D); al salir del aceite y pasar al aire se refracta nuevamente (E). Ese recorrido dentro del aceite retrasa la onda, que se desfasa con respecto al rayo 2, que solo se reflejó en la superficie; por lo tanto, ocurre una interferencia constructiva, generando colores iridiscentes.

Al estar desfasados ambos rayos, significa que las crestas de una onda no coinciden con las de la otra, lo que provoca una sumatoria y una sustracción de ambas, generando una nueva onda. Este tipo de interacción ocasiona una interferencia constructiva o destructiva como se ilustra en la figura 3. En el esquema de la figura 3A, ambas ondas están ligeramente desfasadas y la onda resultante es diferente a las originarias, lo cual constituye un ejemplo de interferencia constructiva; en tanto, en el esquema 3B, donde el desfase es tal que coincide una cresta con un valle, lo cual les anula totalmente, por lo que se denomina interferencia destructiva. En el primer caso se produce un color y en el segundo ausencia de luz o color negro.



Figura 3. En el esquema A, dos ondas parcialmente desfasadas se suman, generando una nueva con diferente longitud de onda (interferencia constructiva). En el esquema

B ambas ondas están totalmente desfasadas (Se sumaría una cresta –valor positivo- con un valle –valor negativo- y el resultado es su anulación (interferencia destructiva).

La iridiscencia en la cerámica Rakú

Una historia del rakú nos remonta al ideograma grabado en un sello de oro, ofrecido por el señor feudal Hideoyoshi, del palacio Jurakudai al ceramista Chojiro, en el siglo XV. Desde entonces la familia de este maestro se denomina “Familia Rakú” y su estilo identifica a un tipo de cerámica, conocida como Rakú³; vocablo que en occidente ha sido traducido o asociado con “deleite”, “comodidad”, “placer contemplativo”, “felicidad” o simplemente “circunstancias felices”; ello se debe a los efectos maravillosos que se logran con esta técnica, como exponemos en este artículo.

El Rakú se trata de una cerámica de baja temperatura (900 a 1000°C), utilizada para lograr la reducción química de los óxidos metálicos de los esmaltes, modificando su acabado, para generar efectos de metalizaciones, iridiscencia y manchas de diversos colores. Para el cuerpo cerámico se utiliza chamota o arena refractaria, lo que incrementa la resistencia al choque térmico que el proceso exige. Las piezas biscochadas (primera cochura) y esmaltadas, se colocan en el horno, se eleva la temperatura y cuando los esmaltes llegan a su “madurez” se retiran del horno al rojo incandescente (Fig 4A) y se pasan a un contenedor con materia orgánica, como papeles, hojas, aserrín y cualquier otro material orgánico, que se encenderá al contacto con la pieza caliente (Fig. 4B) e inmediatamente se debe tapar.

Ese paso equivale a una “pos-quema reductora”; pues el fuego consume oxígeno, además, su presión parcial dentro del horno se reduce mediante dilución, al aumentar la concentración del anhídrido carbónico (CO₂), generado por la combustión del material orgánico, que se carboniza, lo que le da una coloración negra a la cerámica biscochada; proceso conocido como “ahumado”, que se aprecia fácilmente en las áreas no cubiertas por el esmalte (Fig. 4C). Inmediatamente, las piezas son sometidas a otro choque térmico, pues, se sumergen en agua fría (Fig. 4D), lo que produce el efecto característico de craquelado. Los esmaltes no metálicos, de color blanco y los transparentes, exaltan el efecto de ahumado, que se hace más evidente por el ennegrecimiento intenso de las cuarteadoras del esmalte. Por otra parte, las zonas esmaltadas con óxidos metálicos, reaccionan en ese ambiente reducido para crear manchas de efectos apasionantes, debido a la aparición de colores iridiscentes, cuyas tonalidades metálicas pueden recorrer todo el

³ Cerámica Rakú: <http://www.amparoalmela.com/raku/raku.htm>

circulo cromático; en la pieza que mostramos en la figura 4F, las tonalidades más sobresalientes van del dorado al cobrizo, lo cual contrasta sobre el fondo negro.

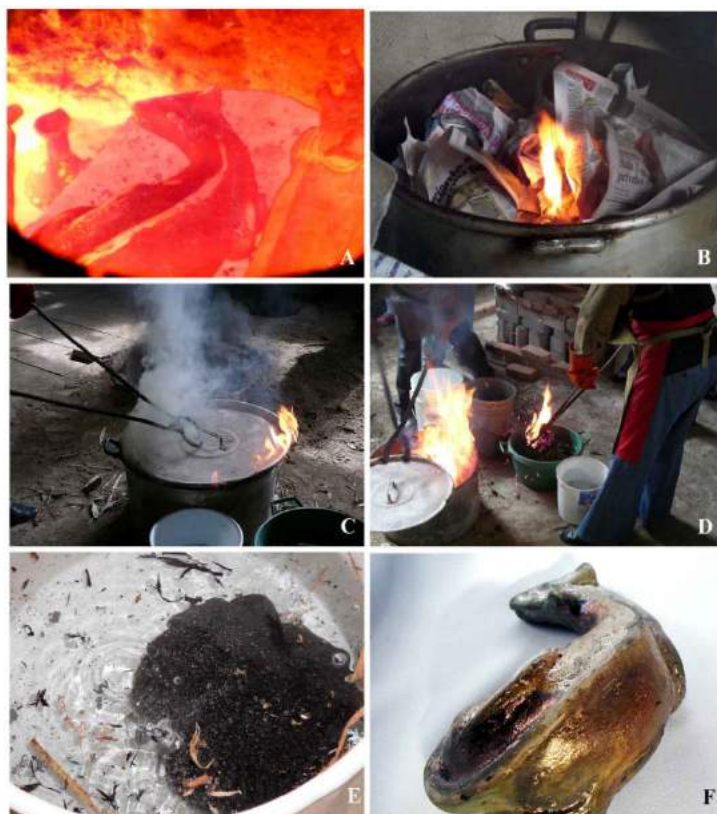


Figura 5: Se muestra una secuencia fotográfica del proceso del Rakú, tomando como ejemplo, una obra (Rata-Rakú) de uno de los autores (FHC). Se muestra desde el horneado de la pieza bizcochada (Fig. 4A), hasta el acabado final buscado (Fig. 4F). Ver el texto para más detalles.

Una posible explicación para la generación de estos colores iridiscentes, es que los esmaltes reaccionan en ese ambiente reducido, generando películas coloreadas; algunas pueden ser transparentes y posiblemente su espesor varía en las distintas áreas de la pieza, según su topografía y al estar sobre una superficie negra, actúa como espejo. Entonces, se completan los elementos necesarios para crear colores iridiscentes; esto es, un espejo de fondo, sobre una película de un determinado color, según el tipo de esmalte empleado; pero que es transparente; lo cual implica que a través de ella se generan fenómenos de reflexión, refracción e interferencia, lo que se traduce en colores metálicos iridiscentes, los cuales provienen tanto del esmalte empleado, como de las interacciones de la luz, lo cual le imparte la riqueza estética que caracteriza al Rakú.

Conclusión:

La hipótesis propuesta para explicar la generación de esos colores iridiscentes que generan algunos esmaltes en el Rakú, es plausible desde el punto de vista físico y requiere un estudio ultraestructural para caracterizar los espesores e interacciones entre la base cerámica y el esmalte, lo cual pretendemos realizar mediante microscopía electrónica. No obstante, lo más importante desde la concepción del ceramista, es la manipulación de ese ambiente reducido, para generar las tonalidades más hermosas del Rakú. En términos cerámicos, la reducción y el tipo de materia orgánica empleado provoca esas circunstancias felices, que se reflejan en la cara de sorpresa y admiración, cuando lavamos la pieza para quitar los restos de materia orgánica carbonizada y vemos surgir la iridiscencia en la pieza que sostenemos. Independientemente de las explicaciones físicas y posibles reacciones químicas, lo más importante son esos momentos y su contemplación futura, siempre con la cara de satisfacción.

Bibliografía

- Ghiradella H. (1998) Microscopic anatomy of invertebrates, *Hairs, bristles, and scales*, Willey Liss Inc., Vol 11A Insecta.; pp 257-287.
- Hernández-Chavarría F, Sittenfeld (2004) A. Rothschildia lebeau (Lepidoptera; Saturniidae): *una descripción ultraestructural*, Univ. Cienc (Méx), 1:1-6
- _____ (2005) The "windows" of Rothschildia lebeau their scales and bristles (Lepidoptera; Saturniidae). *Rev Biol Trop*. 52: 919-926
- Hradil D, Grygar T, Hradilova J, Bezdiska P. (2003) Clay and iron oxide pigments in the history of painting. *Appl Clay Sci* 22: 223-36
- McGraw KJ, Hudon J, Hill GE, Parker RS. (2005) A simple and inexpensive chemical test for behavioral ecologists to determine the presence of carotenoid pigments in animal tissues *Behav Ecol Sociobiol*; pp. 57:391-7.
- Monge-Nágera, J. & F Hernández-Chavarría, (1994) Structural color of the quetzal (*Pharomacrus mocino*), and evolutionary implications. *Rev. Biol. Trop.* pp. 42: 131-140,.
- Parker AR. (1998) The diversity and implications of animal structural colors. *J Exp Biol.*; pp. 201:2343-7.
- Vukusic P, Sambles JR. (2003) Photonic structures in biology, *Nature*, pp. 424: 852-855.