

Los secretos del camuflaje camaleónico: Un análisis del mecanismo de camuflaje en los camaleones

S. Itzamara Candelas Silva y Adrián Guerrero Ramírez

Itzamara y Adrián son estudiantes del segundo semestre de la Licenciatura en Diseño Molecular y Nanoquímica, Centro de Investigaciones Químicas, IICBA-Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

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

De los dibujos animados a la ciencia

Pascal es un personaje fantástico, ¿lo conocen? En la película animada, *Enredados*, el carisma de esta mascota y su habilidad para cambiar de color y mezclarse con su entorno es impresionante (Figura 1). Esta habilidad despertó nuestro interés en explorar más a fondo el fenómeno del camuflaje camaleónico y cómo funciona a nivel molecular.



FIGURA 1. PASCAL, personaje de caricatura. (Enredados, película de Walt Disney Animation Studios).

La capacidad camaleónica de cambiar de color y adaptarse, ajustando su fenotipo a un ambiente determinado, es una de las maravillas más intrigantes y fascinantes del reino animal. A lo largo de la historia, los camaleones han cautivado a científicos, observadores y entusiastas de la naturaleza con su habilidad para transformar su apariencia y mimetizarse con su entorno de una manera casi perfecta.

El mimetismo es una técnica de camuflaje que consiste en cambiar la apariencia de un organismo, en función del contexto y situación. El mimetismo es usado por vertebrados e invertebrados para pasar desapercibidos ante depredadores o, por el contrario, permitiendo a ciertos animales no ser detectados por sus presas y poder atacarlas. En reptiles es una estrategia de defensa que consiste en adoptar una apariencia o un comportamiento que confunda o aleje a los depredadores. Algunos reptiles usan colores brillantes, mientras otros se quedan inmóviles o simulan estar muertos para pasar desapercibidos y evitar el ataque.

Utilizando los principios y enfoques de la física, la biofísica busca describir y comprender el comportamiento de los sistemas biológicos en términos de las fuerzas que actúan en el intercambio de energía entre un ser vivo y su entorno, entre la estructura molecular y sus procesos físicos implícitos. Al combinar estas dos disciplinas, la biofísica brinda una

perspectiva única para abordar preguntas fundamentales sobre la vida y la interacción de los seres vivos con su entorno. El cambio de color en los camaleones no es simplemente una exhibición estética, sino que se encuentra relacionado con la biofísica de estas criaturas extraordinarias. Detrás de su asombrosa habilidad de camuflaje se esconden procesos biofísicos complejos que involucran, desde la estructura de su piel, hasta la interacción entre las células pigmentadas.

¿Por qué cambian de color?

Los camaleones tienen una parte importante de su sistema nervioso dedicada a cambiar de color rápida y reversiblemente, aunque generalmente, el proceso de cambio de color es de forma gradual para no ser detectados por los depredadores. Pueden incluso cambiar a colores distintos en distintas regiones de la piel y mientras una se vuelve más naranja o roja, otra se vuelve más blanca o azul, creando

incluso negros, como ayuda en la termorregulación [2]. Estos cambios son observables debido a la presencia de una estructura en su piel y de los pigmentos contenidos en las células llamadas cromatóforos. Las moléculas de los cromatóforos absorben determinadas longitudes de ondas de la luz visible, y reflejan las que no son absorbidas, es decir, reflejan los colores que no fueron absorbidos. Estos últimos son los que podemos observar.

Cromatóforos presentes en la piel de los camaleones

El cromatóforo (palabra compuesta derivada del griego que significa portador de color), es una célula pigmentada que se encuentra en la epidermis de la piel de los camaleones y en muchos otros animales, tiene un pigmento que refleja la luz de una determinada longitud de onda y que percibimos como un color, o tono de este.

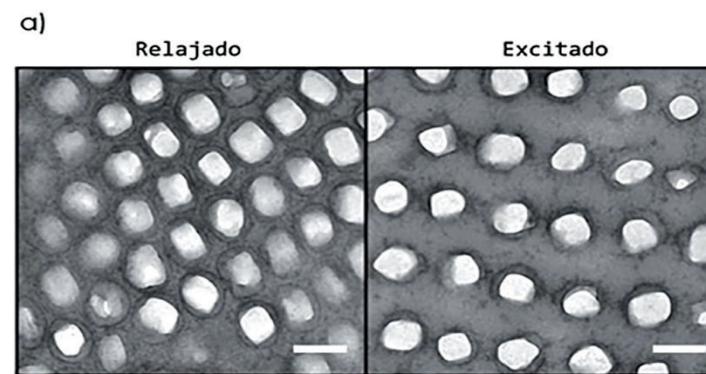
Los cromatóforos, dependiendo del tipo de pigmento, reciben diferentes nombres derivados del color de este último, cianóforos son azules, eritróforos son rojos, leucóforos son blancos, melanóforos son negros, xantóforos son amarillos. Las combinaciones de ellos determinan colores secundarios y diversos matices, produciendo efectos sorprendentes. En la piel de los camaleones podemos encontrar tres tipos de cromatóforos:

- **Melanóforos:** Este tipo de cromatóforos contienen un pigmento de color negro o marrón llamado melanina. Cuando la estructura que contiene los melanóforos se expande, la piel del camaleón se oscurece, y cuando se contraen, la piel se aclara. La contracción y expansión de los melanóforos se controla mediante cambios en el nivel de activación nerviosa.
- **Xantóforos:** Los xantóforos contienen pigmentos amarillos y rojos llamados xantofilas. Al igual que los melanóforos, si la estructura que contiene a los xantóforos se expande, la piel del camaleón se vuelve más brillante y muestra tonos de amarillo o rojo. Y si los xantóforos se contraen, entonces el color amarillo o rojo se vuelve menos visible.
- **Iridóforos:** Estos cromatóforos contienen cristales fotónicos reflectantes que crean efectos iridiscentes. Los cristales fotónicos son estructuras basadas en una repetición periódica de láminas delgadas, con tamaños del orden de la longitud de onda de la luz visible. Esta estructura es adecuada para potenciar al máximo la reflectividad de la luz en una superficie en torno a una determinada longitud de onda. Los iridóforos no contienen pigmentos propios, pero interactúan con la luz de una manera especial para producir colores brillantes y cambiantes. Los cambios de color en los iridóforos se deben a modificaciones estructurales en los cristales reflectantes.

El cambio de color de los camaleones radica en la presencia de dos capas de iridóforos, el tipo de cromatóforos que contienen una red activa de nanocristales de guanina, capaces de reflejar diversas longitudes de onda dentro del espectro de luz visible (entre 300 y 700 nm). Esta capacidad de reflexión permite a los camaleones absorber diversas longitudes de onda que corresponden a determinados colores, y reflejar aquellos que no absorbe su piel [4].

Lo interesante es que hay colores que no se deben a los cromatóforos presentes sino a cómo están distribuidos en los materiales. En la piel del camaleón pantera y de otros camaleones existe una capa superficial de una décima de milímetro con células estructuradas que contienen guanina. Asombrosamente, estas estructuras de guanina se ordenan al tresbolillo (las estructuras de guanina se organizan o disponen en un patrón tridimen-

Figura 1



que reflejan la luz. La guanina es una base nitrogenada presente en los ácidos nucleicos, responsable de la codificación genética y la formación de la estructura de la doble hélice del ADN; sin embargo, en la piel de los camaleones tienen otra función. Allí, los cristales de guanina, crean un color dependiendo de la estructura que adopten dentro de la piel, como lo sugiere el artículo de Teyssier et al. (2015) en Nature Communications [3].

Como se puede observar en la Figura 2a, cuando un camaleón se encuentra en un estado relajado, la distancia entre los cristales fotónicos es menor, y cuando se encuentra en un estado de excitación, la distancia entre estos se vuelve mayor. Al cambiar su grado de excitación se modifica la periodicidad del cristal fotónico. Cuando la luz incide sobre estos cristales fotónicos, se producen fenómenos de interferencia debido a la superposición de ondas. Estas interferencias de onda ocurren cuando dos ondas de frecuencia idéntica o similar se superponen en fase (con coincidencia temporal en crestas y valles), lo cual amplía la onda inicial dando lugar a una interferencia constructiva, o en antifase (con retraso temporal en crestas y valles), lo cual disminuye la amplitud de la onda inicial o la anula, lo que da lugar a una interferencia destructiva. Cuando se presenta una interferencia constructiva de ondas, ciertos colores se vuelven más intensos y brillantes; por otro lado, cuando se presenta una interferencia destructiva de ondas, provoca que ciertos colores sean más débiles o incluso desaparezcan.

La iridiscencia es un fenómeno óptico en el cual el tono de la luz en ciertas superficies

LA FIGURA 2A muestra imágenes TEM (Imágenes tridimensionales con un Microscopio Electrónico de Transmisión) de la red de nanocristales de guanina en S-iridóforos del mismo individuo en estado relajado, cuando el espécimen se encuentra en reposo, y excitado, cuando se encuentran ante la presencia de una hembra o ante otro competidor macho, (dos biopsias separadas por una distancia <1 cm, barra de escala, 200 nm). La figura 2b muestra la evolución temporal del color de una única célula en el diagrama cromático CIE. Este diagrama sirve para caracterizar los colores por un parámetro de luminancia, que es un parámetro que ayuda a determinar el brillo y la luminosidad de una imagen. Cada color está caracterizado por dos coordenadas X y Y que especifican un punto sobre el diagrama. En esta figura, se observa el cambio de color in vivo, cómo cambia el color de una célula desde el naranja hasta el azul verdoso en un periodo de observación de 6.6 minutos [3].

sional, véase Figura 3), formando un cristal en el que la distancia entre las estructuras de guanina es similar a la longitud de onda de la luz visible, es decir formando un cristal fotónico, un cristal que difracta la luz visible. Cuando la luz incide sobre ese cristal se producen interferencias que intensifican ciertas longitudes de onda.

El papel de los iridóforos dentro del mecanismo de camuflaje

Los iridóforos, también denominados guanóforos, como ya se mencionó, son pigmentos celulares que reflejan la luz usando láminas de esquemocromos cristalinos, también conocidos como colores estructurales. Son nanoestructuras que producen color al difractar la luz y su composición es la guanina. Cuando estas láminas son iluminadas generan colores iridiscentes, debido a la difracción que sufren los rayos de luz al atravesar la pila de láminas.

La iridiscencia es un fenómeno óptico en el cual el tono de la luz en ciertas superficies

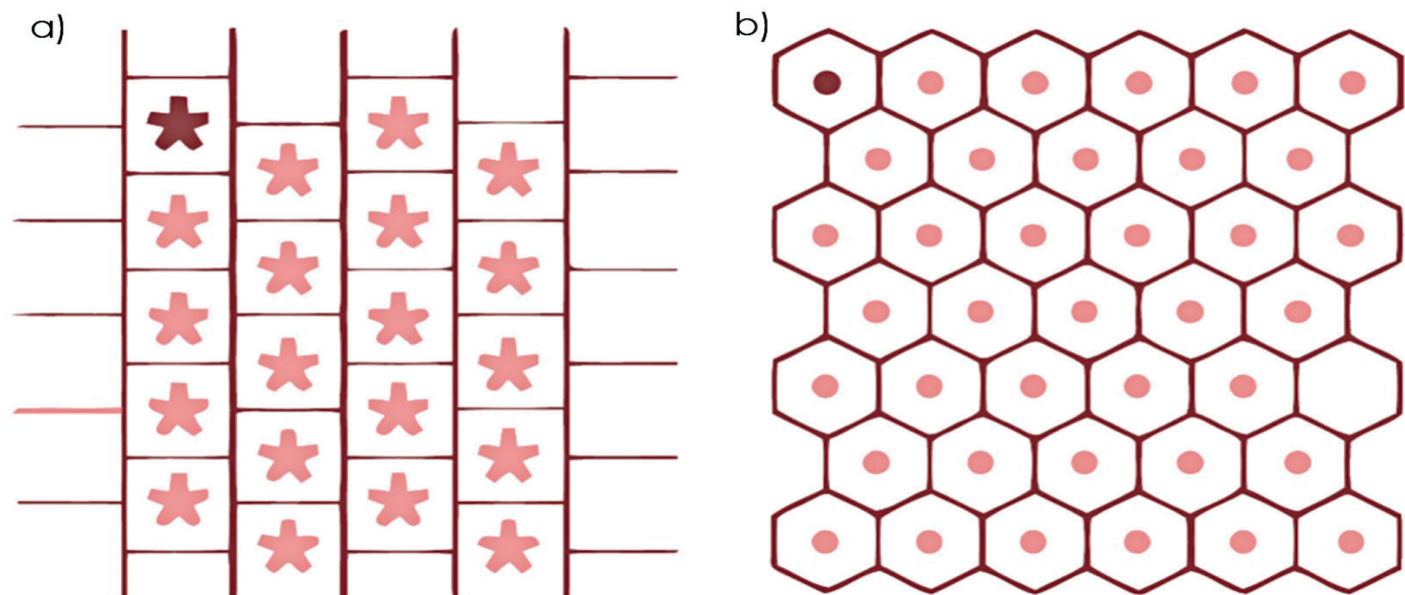


FIGURA 3. A) Orden estructural al tresbolillo. b) Orden de la epidermis del camaleón.

se imitan los colores que rodean?

Dependiendo del entorno en el que está el espécimen, tendrá una necesidad de detección de luz diferente. Los camaleones tienen una visión muy desarrollada y son capaces de percibir una amplia gama de colores. Sus ojos contienen células fotorreceptoras llamadas conos, que son responsables de detectar diferentes longitudes de onda de luz y permiten que los camaleones vean colores. Tienen una visión tetracromática, es decir, tienen cuatro tipos de conos sensibles a diferentes longitudes de onda, lo cual les permite ver colores en el espectro visible, similar a los seres humanos tricromatos pero los camaleones, al ser tetracromáticos, tienen conos sensibles a las longitudes de onda ultravioleta, lo que les permite ver colores ultravioletas. Sus células fotorreceptoras en los ojos captan estos estímulos visuales estos estímulos son transmitidos al sistema nervioso central del camaleón, que posee una parte importante dedicada al control del cambio de color.

Al cambiar la actividad nerviosa y la expansión/contracción de los cromatóforos, los camaleones pueden ajustar la distribución y la cantidad de pigmentos que reflejan la luz. Esto permite que reflejen ciertas longitudes de onda de luz y, por lo tanto, emiten los colores de su entorno. Si el camaleón se encuentra cerca de hojas verdes, por ejemplo, ajustará su camuflaje para reflejar más colores verdes y ocultarse mejor de los depredadores.

Otro beneficio de los iridóforos: la termorregulación

Los camaleones son ectotermos (no son capaces de generar su propio calor interno por ningún proceso metabólico o fisiológico), y como la mayoría de los reptiles, dependen de fuentes externas de calor. Además de los iridóforos más superficiales, iridóforos-S, los camaleones tienen una segunda capa más profunda de iridóforos llamados iridóforos-D [1], que tienen una alta reflexión, la luz infrarroja absorbida por los iridóforos-S puede influir en la cantidad de calor que absorben o reflejan los camaleones.

Las ondas de luz infrarrojas, que están asociadas con la radiación térmica, pueden tener un impacto significativo en la temperatura corporal de un animal. Al tener esta capa adicional de iridóforos con alta reflexión de luz infrarroja, los camaleones pueden controlar

la cantidad de calor que retienen o disipan. Para entender los mecanismos asociados a esta respuesta fisiológica aún son necesarios muchos estudios.

Diferencias en el mecanismo de camuflaje entre especies de camaleones.

Algunas especies de camaleones tienen la capacidad de camuflarse a través del cambio de color, y existen diferencias en el mecanismo entre ellas; estas diferencias están adaptadas a su entorno y a sus necesidades específicas de supervivencia. Se ha encontrado que algunas especies de camaleones tienen un cambio en la formación de los cromatóforos, ayudando a producir una mayor gama de colores, y además el mismo cambio aporta a la composición y distribución de los pigmentos en los cromatóforos pueden diferir entre especies, lo que influye en los colores y patrones específicos que pueden mostrar.

Además del cambio de color, los camaleones también pueden ajustar la textura de su piel para mejorar su camuflaje. Algunas especies tienen protuberancias o espinas en su piel que pueden levantarse o aplanarse para imitar la textura de su entorno, como ramas o hojas.

Otra diferencia importante entre las especies de camaleones es la velocidad y la precisión con la que pueden cambiar de color. Algunas especies pueden cambiar rápidamente de color en cuestión de segundos, mientras que otras pueden requerir varios minutos para hacerlo. Además, algunas especies tienen una mayor capacidad para imitar colores específicos, como el verde o el marrón, mientras que otras pueden mostrar una gama más amplia de colores.

El estudio del camuflaje en los camaleones puede proporcionar información valiosa sobre la biología y el comportamiento de estos animales. Además, puede tener aplicaciones prácticas en otros campos, como la ciencia de materiales o la robótica. Por ejemplo, comprender cómo los camaleones cambian de color para mimetizarse con su entorno podría ayudar a desarrollar materiales que puedan cambiar de color de manera similar.

Para saber más

Cobá-Pacheco, E. A.; Molina-Cortés, Y. A.; Ayala-Ramos, Á. A.; Quijano-Briceño, O. A.; Carvente-Muñoz, O. La Autoorganización: El Proceso Hacia El Orden Natural. Ingeniería 2018, 22 (2), 62–75.

How chameleons change colour. issuu. https://issuu.com/trinityschoolcroydon/docs/ingenium_summer_2022-4/s/17635318 (accessed 2023-05-31).

Alvarez-Carrión, B. Influencia de los factores ambientales sobre la aparición de enfermedades en *Chamaeleo calyptratus* y *Furcifer pardalis* mantenidos en cautividad.

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. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.



ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org.mx

Referencias

1. Bosch, D. L. El cambio de color en los camaleones: un arcoíris de emociones. All you need is Biology. <https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2017/02/26/cambio-color-camaleones/> (accessed 2023-05-31).
2. Chamaeleo chamaeleon. Asociación Herpetológica Timon.

<https://www.asociaciontimon.org/especies/chamaeleo-chamaeleon/> (accessed 2023-06-22).

3. Teyssier, J.; Saenko, S. V.; van der Marel, D.; Milinkovitch, M. C. Photonic Crystals Cause Active Colour Change in Chameleons. Nat. Commun. 2015, 6 (1), 6368. <https://doi.org/10.1038/ncomms7368>.
4. Buoninconti, F.; Lorenzo, L. C. T. Mira Quién Habla: Cosas Que Dicen Los Animales; Alianza Editorial, 2022.