Rojo vivo:

cuando la naturaleza y la ciencia conciben color

Abril Ramírez Higuera





¿Alguna vez has reflexionado cómo sería la vida sin los colores vibrantes? Imagina que tu golosina favorita en forma de panda no tuviera el color rojo. De hecho, nos fascinan tanto los pandas rojos que la empresa productora sacó al mercado bolsitas con gomitas exclusivamente rojas. El color es parte de la experiencia: despierta emociones, activa recuerdos y estimula el apetito. ¿Cómo podrían distinguirse las mujeres villanas en las películas, series o caricaturas sin el destellante rojo carmesí en sus labios, el cual es una poderosa herramienta simbólica que comunica fuerza, educción y peligro?

El color rojo atrae nuestra atención de inmediato, porque fisiológicamente estimula el sistema nervioso simpático.

Aumenta el ritmo cardíaco y genera una sensación de energía o urgencia. Esta es la razón por la que muchas marcas lo emplean en sus logotipos, empaques, embalajes y establecimientos, creando un vínculo permanente con el consumidor. Ejemplo de ello es la bebida gaseosa más famosa del planeta, que adoptó este encendido color como su identidad global, asociándolo con felicidad, energía y pasión.

Conmemoraciones cotidianas como la celebración del amor, el 14 de febrero, no serían lo mismo sin las calles teñidas con rosas rojas, globos rojos, corazones y chocolates con papel celofán o papel aluminio del mismo color rojo. Y la fecha en la que no falta la compañía familiar, la Navidad, el rojo vuelve a ocupar el centro de la escena en la vestimenta, los adornos y las cintas que envuelven los regalos. De alguna manera es un color que refuerza la asociación con la alegría, el calor y la unión.

Un poco de historia roja

El rojo ha capturado la imaginación humana durante milenios y ha acompañado su evolución desde tiempos inmemoriales, es un color que nos atrae, nos advierte, nos conmueve. En su sentido positivo, simboliza la pasión, el amor, la energía, el deseo y la vitalidad. Pero también tiene su contraparte, representa la ira, el peligro, la sangre y la agresión. Es una dualidad fascinante que lo convierte en uno de los colores más complejos y universales del espectro de las emociones, dado que refleja tanto nuestra capacidad de amar como de temer.

El rojo es mucho más que una sensación visual: es una sustancia tangible que, durante siglos, se produjo con esfuerzo y se valoró como un bien precioso.

En la antigüedad, los pigmentos rojos eran tan escasos que funcionaban como moneda de cambio y símbolo de poder.

En Mesoamérica, la grana cochinilla (*Dactylopius coccus*) un diminuto insecto parásito (Figura 1), fue la principal fuente del codiciado color carmín. El insecto se alimenta de plantas como el nopal o tuna (*Opuntia ficus-indica*) y durante su metabolismo produce ácido carmínico (pigmento rojo) como defensa natural. Este ácido protege al insecto de depredadores y microorganismos, ya que tiene propiedades que lo vuelven desagradable o tóxico para otros animales pequeños. Este compuesto químico se convirtió en un producto de exportación tan valioso que rivalizaba con el oro y la plata.



Figura 1. Insecto milenario del que se obtiene el pigmento rojo.

Durante el periodo colonial, el "rojo mexicano" era un lujo reservado para la realeza y los artistas más prestigiosos. Pintores como Rubens, Velázquez o Rembrandt lo utilizaron para representar mantos, cortinas o escenas de poder. El comercio de la cochinilla transformó economías enteras y generó disputas entre imperios, demostrando que un color podía ser tan estratégico como un metal precioso.

En otras regiones del mundo también existieron fuentes naturales de pigmentos rojos, como la rubia (*Rubia tinctorum*), una planta cuyas raíces contienen alizarina, un tinte rojo-anaranjado; o el cártamo (*Carthamus tinctorius*), cuyas flores producen cartamina; o el múrex (*Bolinus brandaris*), un molusco del Mediterráneo que generaba el tinte púrpura conocido como "de Tiro". Estos pigmentos naturales eran apreciados pero limitados, ya que su producción dependía de factores ambientales, disponibilidad de materia prima y mano de obra intensiva.

Con la llegada de la Revolución Industrial y el desarrollo de la química moderna, el mundo del color cambió para siempre.



En 1856, el joven químico inglés William Henry Perkin descubrió accidentalmente la *malva*, el primer colorante sintético. Este hallazgo marcó el inicio de una era en la que los pigmentos podían fabricarse en laboratorio, sin depender de recursos naturales. Rápidamente surgieron otros tintes: azules, amarillos, verdes y, por supuesto, rojos. Eran baratos, brillantes y fáciles de producir en grandes cantidades. La industria textil, cosmética y alimentaria los adoptó de inmediato.

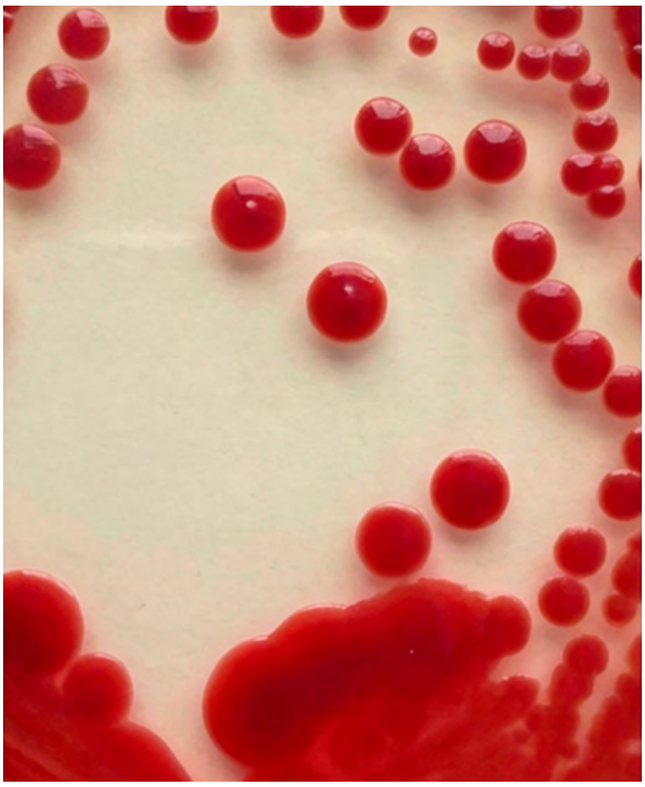
Sin embargo, el éxito de los colorantes sintéticos tuvo un costo: muchos de ellos se elaboraban a partir de derivados del petróleo y otras sustancias tóxicas. Con el paso del tiempo, diversos estudios demostraron que algunos compuestos artificiales causaban alergias, alteraciones hormonales e incluso efectos cancerígenos. Además, su producción generaba desechos químicos que contaminaban el agua y el suelo. Lo que al principio se veía como un logro de la modernidad, terminó convirtiéndose en un problema ambiental y de salud pública.

Nuevas maneras de colorear

Afortunadamente las formas de producción han cambiado para implementar métodos más sostenibles y sustentables, así como diversas fuentes naturales para extraerlos, conservando propiedades únicas que más allá del color: son potenciales blancos no farmacológicos para el tratamiento y prevención de enfermedades crónicas. En este sentido, la investigación multidisciplinaria entre la biología, química, biotecnología, ingeniería alimentaria, ingeniería genética entre otras disciplinas, es clave para diseñar procesos más eficientes, ecológicos y económicamente viables.

El regreso a lo natural no solo responde a una moda ecológica, sino a una necesidad científica y ética. Las empresas y los investigadores buscan colorantes naturales seguros para la salud, amigables con el ambiente y con valor funcional añadido.

Las fuentes vegetales son especialmente atractivas, frutas, flores, raíces y hojas albergan pigmentos como antocianinas (colores rojizos, púrpuras o azulados), carotenoides (colores amarillos, naranjas y rojos) y betalaínas (rojo-violeta hasta el amarillo-naranja), porque son para ellas fuente de protección frente a herbívoros, radiación UV o patógenos. Están caracterizados molecularmente por sus dobles enlaces conjugados y grupos fenólicos que los hacen absorber la luz visible, y no necesitan algún agente químico adicional para apreciarlos a simple vistal. Los seres humanos nos beneficiamos de dicha característica, ya que por esta misma composición son valiosos como colorantes, y por su habilidad de ser agentes reductores lo que les permite neutralizar radicales libres, moléculas inestables que dañan las células y promueven la inflamación.



Al actuar como antioxidantes y antiinflamatorios, estos compuestos reducen el riesgo de enfermedades cardiovasculares, metabólicas como la diabetes tipo 2, hipertensión, deterioro cognitivo, prevención de trastornos oculares e incluso algunos tipos de cáncer; fortalecen el sistema inmunológico y mejoran la salud de la piel entre muchas funciones biológicas (Figura 2).

Por eso, el interés por los pigmentos naturales no se limita al color: se ha transformado en una estrategia de salud preventiva y sostenible.

Entre las fuentes vegetales más utilizadas para obtener el pigmento rojo destacan: el betabel (*Beta vulgaris*) es rico en betalaínas, produce tonos del rojo al violeta biológicamente empleados como potenciales anticancerígenos; la flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) contiene antocianinas y compuestos fenólicos con actividad antihipertensiva; el tomate rojo (*Solanum lycopersicum*) es fuente del carotenoide licopeno, asociado con la salud cardiovascular; y la tuna roja (*Opuntia ficus-indica*), porque su pulpa y cáscara contienen pigmentos intensos con propiedades antioxidantes.

Estos son cuatro ejemplos importantes para la industria alimentaria, cosmética y textil, ya que se aprovechan los residuos, una vez que estas fuentes fueron procesadas para su uso en un primer proceso. Las cáscaras, los bagazos y los residuos que antes se desechaban, ahora se procesan para extraer pigmentos naturales de alto valor agregado. Así, un subproducto que antes representaba un problema ambiental, se convierte en una fuente económica sostenible siendo un ejemplo perfecto de economía circular.

El color tiene un valor práctico y medible en la evaluación de la calidad de fuentes vegetales, entre mayor intensidad mayor contenido de compuestos bioactivos. En dichos productos el color superficial no solo indica madurez, sino también el contenido de pigmentos naturales asociados con sus propiedades funcionales y nutricionales. Afortunadamente es posible medirlos con un instrumento llamado *colorímetro* que se basa en el sistema CIE-L-A-B (L, a, b). Esta herramienta describe el color con parámetros objetivos, es decir, funciona como un traductor universal del color.

El colorímetro está diseñado en base a cómo nuestros ojos distinguen el color y su intensidad, así como los degradados en tonalidad al colocar más blanco o negro como lo haría un artista en una paleta. Por lo tanto, el sistema convierte lo que vemos en números que describen el color en términos de su intensidad y brillo. *L* representa la luminosidad, *a* mide la intensidad del rojo o verde, y *b* la del amarillo o azul. Por ejemplo, en manzanas, tomates o fresas, un valor de *a* más alto se asocia con un mayor grado de madurez y calidad, aunado a un contenido superior de pigmentos (Figura 3). Este eficiente sistema permite evaluar, de manera rápida, la madurez, frescura y valor nutricional, garantizando productos más homogéneos y saludables para el consumidor.



Figura 2. Pigmentos de fuentes naturales y su efecto biológico.

Fermentación y color

La historia del color natural no termina con las plantas o los insectos, ni la tecnología concluye con el sistema CIE-L-A-B. En los últimos años, la biotecnología ha abierto un horizonte completamente nuevo gracias al uso de microorganismos como bacterias, levaduras, hongos y algas.

Estos diminutos seres han apoyado procesos de fermentación donde convierten carbohidratos simples en productos deliciosos como pan, queso, yogur, bebidas como tepache, pulque entre otros.

En un inicio, se creía que esos procesos se llevaban a cabo gracias a las deidades hasta que, a través de los avances en las lentes y la creación del microscopio se pudo estudiar a los verdaderos protagonistas de tan mágicas transformaciones.

Los métodos de fermentación han evolucionado dando paso al crecimiento controlado de consorcios microbianos, apoyados de sistemas de reactores automatizados, generando productos seguros, homogéneos, trazables, de alta calidad. Y, ante el panorama vigente de pérdida de biodiversidad, escasez de agua, contaminación de suelos, nos brindan la posibilidad de obtención de diversos productos de manera rentable, sostenible y sustentable.

Mediante técnicas avanzadas de ingeniería genética, los científicos pueden insertar fragmentos de material genético en microorganismos para que sinteticen compuestos que no producían de forma natural, perfilándolos como auténticas "fábricas biológicas" capaces de producir pigmentos, vitaminas, proteínas y otras moléculas de interés industrial. Este proceso, conocido como *fermentación de precisión*, ha revolucionado la forma como se fabrican muchos productos. A diferencia de los métodos químicos tradicionales, la fermentación de precisión es limpia, controlada y completamente sostenible: utiliza menos agua, genera menos residuos y puede realizarse a gran escala sin depender de cultivos extensivos o animales.



Figura 3. Colorímetro y sistema CIE-L-A-B.

Hoy en día esta tecnología permite obtener pigmentos naturales como carotenoides, melanoidinas, flavinas y antocianinas a partir de microorganismos modificados (Figura 4). Por ejemplo, la bacteria *Serratia marcescens* produce prodigiosina, un pigmento rojo que tiene propiedades antimicrobianas y anticancerígenas. Mientras, de la bacteria *Chromobacterium violaceum* se obtiene violaceína, un pigmento violeta sintetizado con actividad antibacteriana y antioxidante. Luego, hongos del género *Monascus* producen monascinas y rubropunctatinas pigmentos rojos y naranjas usados tradicionalmente en el "arroz rojo" asiático. Y algas cianofíceas generan ficobiliproteínas: pigmentos fluorescentes utilizados en alimentos y biomedicina.

Además los pigmentos microbianos tienen la ventaja de ser puros, estables, homogéneos, reproducibles y fáciles de escalar industrialmente.

A diferencia de los métodos tradicionales, estos sistemas biológicos pueden generar pigmentos de forma controlada, sin depender de cosechas o factores climáticos; estos procesos son más eficientes energéticamente y reducen la huella de carbono.

Las aplicaciones de esta tecnología son tan amplias que permiten aprovechar a los microorganismos para la producción de biopolímeros empleados en la industria textil como sustitutos de cuero para elaborar bolsas, chamarras, carteras. En la industria alimentaria suelen emplearse para obtener espesantes, sustitutos de grasa, lácteos alternativos, análogos de carne entre otros insumos. La industria farmacéutica puede canalizar la ruta de fermentación microbiana para la síntesis de fármacos o vacunas.

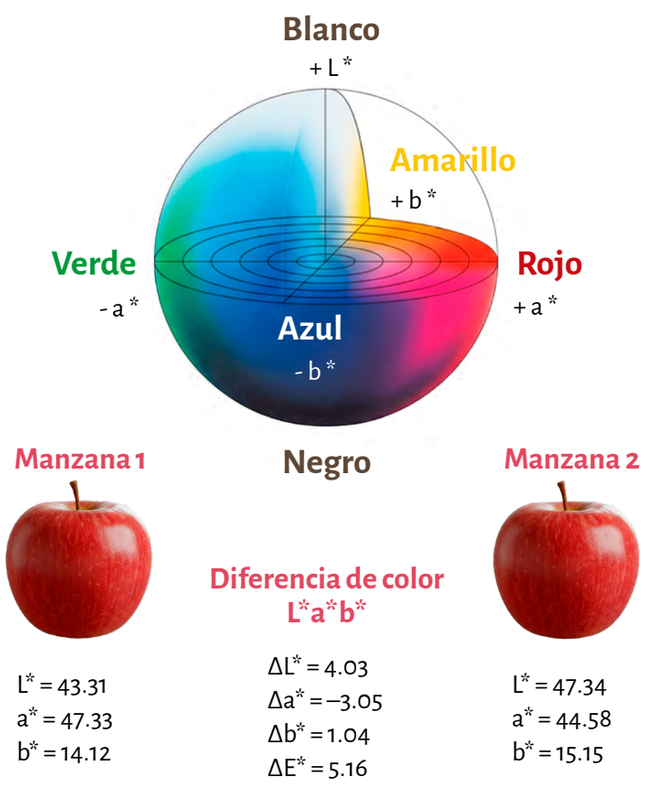




Figura 4. Algas como fuentes de pigmentos.



Conclusión

La transición no es solo tecnológica, sino también ética: nos invita a repensar nuestra relación con los recursos naturales, a ver los desechos como nuevas oportunidades y a comprender que la ciencia puede inspirarse en la naturaleza sin dañarla. Cada vez que observamos el rojo de una fruta madura o el tono de un labial, contemplamos siglos de evolución biológica, artística y cultural. Ese mismo color, que en el pasado simbolizó poder y riqueza, hoy representa innovación y sostenibilidad. Su recorrido, desde la grana cochinilla mexicana hasta la fermentación de precisión, refleja la historia de la humanidad buscando equilibrio entre belleza, tecnología y respeto por el ambiente, aprovechando residuos vegetales o microorganismos que trabajan en armonía con el entorno; un recordatorio de que la creatividad humana es capaz de convertir los desafíos en oportunidades y la necesidad en innovación.

El color rojo, más allá de su simbolismo cultural y emocional, representa una historia de innovación científica y adaptación tecnológica.

Porque el rojo no solo está en los objetos: late dentro de nosotros, en la sangre que da vida y en la curiosidad que nos impulsa. Te invito a seguir explorando este apasionante campo, donde la biotecnología, la sostenibilidad y la creatividad humana se unen para colorear el futuro con conciencia, salud y respeto por el planeta.

Lecturas recomendadas

Aguiar Pech, J. & Borges Argaez, R. (2024). *El fascinante mundo del rojo carmesí, producto de los insectos. Desde el Herbario CICY*, 16, 203-206.

González Cadavid, V., Jiménez Cartagena, Y. & Rendón Restrepo, M. F. (s. f.). Colorimetría CIELAB: Artículo de revisión [Manuscrito no publicado]. *Scribd*. https://es.scribd.com/document/561465905/Colorimetria-CIELAB-Articulo-de-Revision.

Mandujano, A. & Mandujano, M. (2020). De la cochinilla y del nopal: el ácido carmínico, una antraquinona multifuncional. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, *65* (4), 100-127.

Regalado Rentería, E. & Pérez Ramírez, I. F. (2024). Más allá de una bebida: revelando el valioso residuo del agua de jamaica. *Recursos Naturales y Sociedad*, *10*(2), 107-117.

Reyes Landa, G. M., Granados-Balbuena, S. Y., García-Meza, M. G., Tapia-López, L. & Ocaranza-Sánchez, E. (2023). Antocianinas y la magia del color: Fuentes, beneficios y aplicaciones. *Revista Frontera Biotecnológica*, *24*(1).

