

A todo color: los tintes a través de la historia

In full colour: dyes through history

Juan José Serrano Pérez*

IES Berenguer Dalmau, Departamento de Física y Química, Catarroja, Valencia

PALABRAS CLAVE:

Tintes
Colorantes
Historia de la Química
Color

RESUMEN:

La vestimenta siempre ha sido clave en la primera impresión que causa una persona. En este sentido son muy importantes los tintes, utilizados para dotar a las fibras textiles de diversos colores estables y diferentes de los que tienen por naturaleza. A lo largo de la historia han ido evolucionando las sustancias empleadas para tal fin, así como las preferencias de los consumidores.

KEYWORDS:

Dyes
Colourants
History of Chemistry
Colour

ABSTRACT:

Clothing has always been key to the first impression a person gives. In this sense, dyes, used to provide textile fibres with various stable colours different from those they have by nature, are very important. Throughout history, the substances used as dyes have evolved, as well as consumer preferences.

Introducción

La indumentaria es un componente fundamental de la percepción que tenemos de nosotros mismos y de los demás, con respecto a nuestra personalidad y estatus, algo que se ha reflejado a lo largo de la historia.^[1,2] Aunque vestirse para protegerse del frío es una necesidad básica, en sociedades más urbanizadas, como las de la Baja Edad Media, pronto se relacionó la ropa y el modo de vestir con la clase social. Además, no solo era necesario invertir dinero para lucir las mejores telas, sino invertir tiempo para conocer las nuevas tendencias y "estar a la moda".

En este sentido, los **tintes** pronto adquirieron una gran importancia en la industria textil, que cuenta con más de 4000 años de existencia, obteniéndose exclusivamente de fuentes naturales (a partir de plantas, líquenes, insectos o moluscos) hasta hace apenas 150 años.^[3] En general, siempre se han valorado los tintes duraderos, es decir, aquellos que no se alteran por el lavado o por exposición a la luz o al aire.^[3]

Los colores más buscados fueron patrimonio de las clases altas, que podían permitirse, por ejemplo, comprar togas teñidas con la **púrpura de Tiro**,^[4] asociadas con la riqueza y el poder. La historia de los tintes está marcada por el avance científico, pero también guarda relación con el comercio, la economía, el poder y el espionaje.

Por otro lado, es en el siglo XIX cuando se institucionaliza la ciencia, pasando a ser una actividad muy valorada por la sociedad en términos sociopolíticos y económicos, y se profesionaliza la actividad científica, en gran medida gracias a la física del electromagnetismo y a la química orgánica, especialmente la relacionada con la industria de los tintes.^[5] A mediados de

ese siglo, **William H. Perkin** (ver Figura 1) sintetizó la **malveína** (o mauveína), una sustancia de color violeta que pronto fue empleada para teñir fibras textiles, convirtiéndose en el icono de una importante industria.^[6]

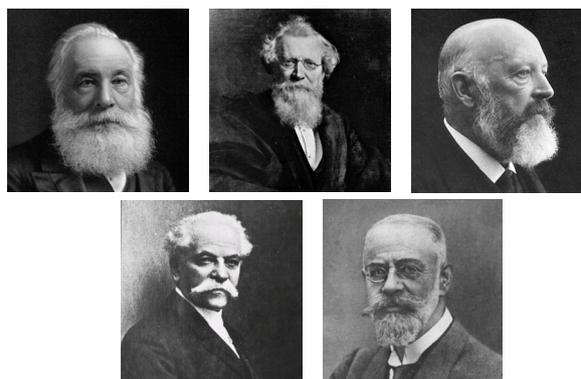


Figura 1. Algunos científicos destacados en el desarrollo de la química de los tintes (todas las imágenes son de dominio público). De izq. a dcha. y de arriba a abajo: William H. Perkin, August Wilhelm von Hofmann, Adolf von Baeyer, Heinrich Caro y Paul Friedländer.

En la actualidad,^[7,8] los tintes son una parte esencial de la industria textil, que utiliza millones de toneladas de colorantes en un mercado que mueve billones de dólares, y en la que destaca la investigación sobre nuevos productos y procesos con un menor impacto en la salud y en el medio ambiente. En este sen-

tido, los compuestos de los tintes son los que más contaminan el medioambiente^[9], perjudicando la salud de los trabajadores de las fábricas textiles. Según estimaciones de la Unión Europea, la producción textil, a través de los tintes y los productos de acabado, es responsable de aproximadamente el 20 % de la contaminación mundial de agua potable.^[10]

El color

El **teñido** es un proceso químico en el que se añade un colorante a los textiles y otros materiales, con el fin de que el producto final tenga un color diferente del original.

El **color**, desde un punto de vista fisiológico, es la sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales y que depende de la longitud de onda de la radiación electromagnética. Alternativamente, desde un punto de vista físico, se puede interpretar como energía electromagnética comprendida dentro del espectro visible.^[11,12] Se denomina **chromóforo** a la parte de una molécula (un átomo o un grupo de átomos) responsable de la **absorción de luz** de una determinada frecuencia y que, en el contexto de los tintes, es la causa principal del color que presenta la sustancia. Como onda (ver Figura 2a), la luz se puede caracterizar a partir de ciertas magnitudes, como la energía (E), la longitud de onda (λ), que es la distancia que separa dos puntos idénticos de la perturbación (verbigracia: dos máximos sucesivos, ver figura 2a) o la frecuencia (f), inversamente proporcional a la anterior, que es el número de veces que un determinado punto repite cierto estado de la perturbación por unidad de tiempo. La interacción de la luz con un objeto dependerá de la estructura microscópica del material y del tipo de radiación incidente.

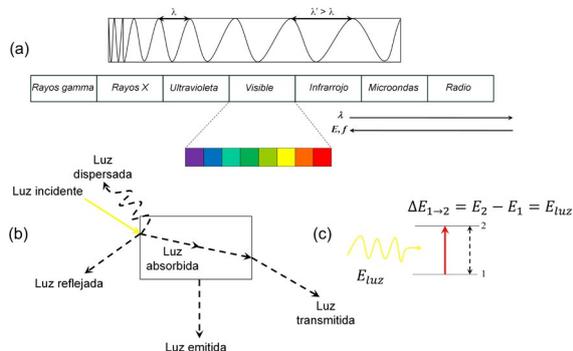


Figura 2. (a) El espectro electromagnético es la distribución del conjunto de las ondas electromagnéticas según su energía, su frecuencia o su longitud de onda. (b) Diferentes fenómenos de interacción luz – materia. (c) Cuando incide radiación electromagnética de la energía adecuada, correspondiente a la diferencia de energía entre dos estados, el compuesto químico absorbe la radiación y se excita pasando del estado 1 (estado fundamental) al estado 2 (uno de los posibles estados excitados).

La luz presenta una **naturaleza dual onda-partícula**: se propaga por el espacio como una onda (experimentando fenómenos de reflexión, refracción, polarización, interferencia, difracción, etc.) e interacciona con la materia como un conjunto de partículas denominadas **fotones** (como se pone de manifiesto, por ejemplo, en el efecto fotoeléctrico). Aunque las causas del color son muy diversas, todas ellas tienen el mismo origen: la interacción de los fotones de la luz con los electrones del material. Así, la luz puede interaccionar con un cuerpo de diferentes formas (ver Figura 2b) y experimentar, como consecuencia, diferentes fenómenos que pueden dar lugar al color que percibimos.

El estudio de la interacción entre la radiación y la materia es una de las aplicaciones más importantes de la **mecánica cuántica**. Los fenómenos derivados de dicha interacción dependen del tipo de radiación empleada, pero principalmente de la estructura electrónica de la sustancia.^[12] Así, la absorción de luz por un compuesto químico puede provocar cambios en su estructura electrónica, con lo que el sistema pasa de su estado fundamental, el más estable, a un estado excitado de mayor energía (ver Figura 2c). Básicamente, lo que ocurre es que un fotón luminoso interacciona con un electrón del compuesto, y este electrón se excita pasando a un estado excitado de energía superior. El compuesto en estado excitado tenderá a relajarse y regresar al estado fundamental (el electrón volverá a ocupar su lugar original), y puede hacerlo, entre otras vías, emitiendo luz, cuyo color, en caso de emitir en el rango del visible, dependerá de la separación entre los estados permitidos de energía.

Como el color de una sustancia depende de su estructura microscópica, no poseerá el mismo color una sustancia que una mezcla. Por ejemplo, los colores de la esmeralda, el rubí y el zafiro se deben a la presencia de impurezas metálicas (cromo en los dos primeros casos y titanio en el último), sin las cuales serían tan transparentes como el diamante. Asimismo, en algunos casos, un determinado material se puede ver de un color determinado a la luz del día, pero bajo luz ultravioleta (UV) su color cambia, debido a la emisión de luz visible en forma de fluorescencia, como ocurre con minerales como la calcita, la willemita o el ópalo. La luz emitida es casi siempre de menor energía (mayor longitud de onda) que la luz excitante.

Por otro lado, cuando un haz de rayos luminosos paralelos se refleja en una superficie lisa, como un espejo, todos los rayos salen en la misma dirección (**reflexión especular**). Sin embargo, la mayoría de las superficies son rugosas y, como resultado, la luz se refleja prácticamente en todas las direcciones (**reflexión difusa**). Puesto que la reflexión difusa envía la luz en todas direcciones, podemos ver los objetos iluminados desde cualquier dirección. La mayoría de los objetos reflejan algunas longitudes de onda de la luz más que otras, y esa es una de las razones de los colores que percibimos.

La dispersión de la luz también puede jugar un papel importante. Si un fotón de la energía adecuada (correspondiente a la diferencia de energía entre dos estados permitidos por las reglas de la mecánica cuántica) interacciona con una molécula, por ejemplo, esta se excita y pasa a un estado excitado. Pero si un fotón interacciona con una molécula y su energía no es suficiente para producir la excitación, entonces la molécula permanece en su estado fundamental, y el fotón se dispersa. Si la longitud de onda de la luz incidente (luz solar) es grande comparada con el tamaño de la molécula (como ocurre con las moléculas que constituyen los gases de la atmósfera), la intensidad de la **luz dispersada** es proporcional a la cuarta potencia de la frecuencia. Por tanto, la intensidad dispersada correspondiente al azul y al violeta es considerablemente mayor que la del rojo (porque la luz roja, al ser de mayor longitud de onda, tiene menor energía y, por ende, menor frecuencia), y por eso vemos el cielo de color azul (y si no lo vemos violeta es porque la sensibilidad del ojo al violeta es mucho menor que al azul). De no haber atmósfera, veríamos el cielo de color negro.

En general, cuando un material iluminado con luz blanca presenta un determinado color, es porque ha absorbido todas las demás radiaciones, salvo la correspondiente a ese color, que o bien es reflejada (si el material es opaco) o es transmitida (si es transparente) hasta emerger por el lado opuesto. A este proceso se le denomina **absorción selectiva**. Así, el color observado, **reflejado o transmitido**, es el complementario del color ab-

sorbido (ver Tabla 1). Cuando la absorción del espectro visible es total, el objeto aparece de color negro; si rechaza todas las radiaciones, reflejándolas, es de color blanco.

De este modo, las zanahorias y las hojas rojas en otoño son de color naranja porque contienen caroteno, una molécula que absorbe en la zona azul del espectro visible, reflejándose la luz que resulta de la absorción de las “frecuencias azules”. Tenemos otro ejemplo con el oro y el cobre, los únicos metales que no exhiben ese característico color metálico porque absorben luz azul y violeta, quedando el amarillo. Del mismo modo, una disolución de un colorante alimentario rojo tiene este color porque absorbe luz cian (azul-verdosa) y transmite rojo. Asimismo, si mezclamos un pigmento rojo con uno amarillo lo veremos naranja porque en esa mezcla se absorben todos los colores excepto el rojo y el amarillo, lo que combinado da como resultado el color naranja.

Tabla 1. Zona visible del espectro electromagnético.

λ de luz absorbida (nm)	Color de la luz absorbida	Color visible
400-420	Violeta	Verde-amarillento
420-450	Violeta-azulado	Amarillo
450-490	Azul	Naranja
490-510	Azul-verdoso	Rojo
510-545	Verde	Púrpura
545-580	Verde-amarillento	Violeta
580-630	Naranja	Azul
630-720	Rojo	Azul-verdoso

Tintes y pigmentos

Los tintes y los pigmentos son los colorantes más importantes utilizados para dar color o cambiar el color de las cosas.^[11] Se utilizan en muchas áreas, incluyendo la industria textil. Tanto tintes como pigmentos conducen a una absorción selectiva de la luz. Los pigmentos favorecen, además, la dispersión de la luz.

Los tintes, de naturaleza orgánica y formados por partículas relativamente pequeñas, suelen ser solubles en agua (lo cual es importante para impregnar íntimamente las fibras) y reaccionan químicamente con el material. Los tintes proporcionan colores más brillantes que los pigmentos, aunque son menos estables. En ocasiones se necesita la acción de un mordiente para facilitar esta unión.^[7,8,13,14] Un mordiente es una sustancia que favorece la fijación del colorante en las fibras textiles, como el ácido tánico o ciertas sales metálicas como el alumbre (generalmente se refiere al sulfato de aluminio y potasio) y el acetato de calcio. Comúnmente se utilizan con los mordientes otras sustancias como el cremor tártaro (hidrogenotartato de potasio) o el ácido oxálico, que sirven para dar brillo a los colores, proteger las fibras y/o ayudar a la absorción del mordiente.^[3] En cambio, los pigmentos están constituidos por partículas más grandes, orgánicas o inorgánicas, que generalmente son insolubles en el medio en el que se incorporan, fijándose a su superficie sin que se produzca una reacción química.

Podemos encontrar diferentes tipos de tintes naturales.^[3,13-15] Entre otros, los tintes de cuba o a la tina (como el índigo) son inso-

lubles en agua, por lo que no se pueden utilizar directamente. Sin embargo, se pueden reducir a una forma “leuco”, soluble en disoluciones acuosas alcalinas, que puede penetrar en las fibras textiles. Por exposición al aire son oxidados a su forma insoluble, de modo que quedan atrapados en la fibra. Por otro lado, los tintes de mordiente requieren que las fibras textiles sean tratadas con un mordiente. Durante el proceso de teñido, el tinte interacciona con el complejo mordiente-fibra formando una especie insoluble coloreada. Para llevar a cabo la tinción de las fibras con quermes o con granza es absolutamente imprescindible el empleo de mordientes.

Se pueden emplear diferentes técnicas de análisis químico^[3,16,17] para determinar la composición de los tintes utilizados en muestras antiguas de tejido, como espectrometría de masas, cromatografía en capa fina, espectrofotometría ultravioleta-visible, espectrometría infrarroja y espectroscopía Raman, aunque el método más eficiente para separar e identificar mezclas de tintes es la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), debido a que las fibras textiles, de naturaleza orgánica, pueden interferir en el análisis del compuesto de interés (el tinte), presente en menor proporción en la muestra.

Desarrollo histórico

La preparación de colorantes (ver Tabla 2 y Figura 3) estuvo, inicialmente, relacionada con la alquimia.^[13] Los primeros pigmentos utilizados, ya en el Paleolítico, eran de origen natural, principalmente de naturaleza inorgánica. Respecto al teñido de los tejidos, con la excepción de algunas arcillas, el reino mineral ofrece pocas sustancias tintóreas, aunque sí proporciona sales metálicas, los mordientes, como el alumbre, utilizado para aumentar la afinidad entre las fibras textiles y los colorantes.^[18] En cambio, los seres vivos sí que pueden aportar una gran variedad de colores, y se empezaron a producir tintes naturales a partir de moluscos, insectos, plantas o líquenes.

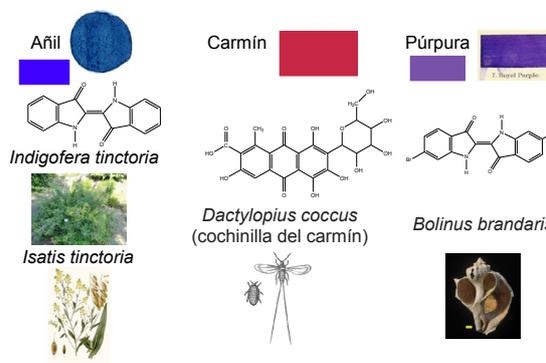


Figura 3. Algunos tintes de importancia histórica (todas las imágenes son de dominio público). También se representan sus fuentes naturales y las moléculas responsables del color.

En el Neolítico aparecen las primeras aplicaciones relacionadas con la transformación de la materia, y ya en el siglo IV antes de la era común (a.e.c.) se conocía el carácter corrosivo del vinagre sobre el cobre y el plomo, lo que permitió obtener pigmentos artificiales de gran interés artístico.^[13] Por ejemplo, uno de los pigmentos de origen sintético más antiguos, el azul egipcio, fue sintetizado hacia 3100 a.e.c. Asimismo, en Mesopotamia y Egipto surgieron técnicas para extraer sustancias que sirviesen como tintes a partir de plantas, insectos y moluscos. En tales casos, dichas sustancias eran de naturaleza orgánica.

En relación con los procesos de tinción, Plinio el Viejo (siglo I) alabó las técnicas de los egipcios, conocedores de la venta-

Tabla 2. Algunos tintes con tradición histórica y principales moléculas responsables de su color. En ocasiones, la fuente y el tinte reciben la misma denominación. Asimismo, un mismo tinte puede tener diferentes fuentes.

Color	Tinte/Fuente	Molécula protagonista del color
Azul	Índigo, añil, glasto	Indigotina
Púrpura	Púrpura de Tiro	6,6' - dibromoindigotina
	Orchilla	Orceína
Rojo	Carmín de cochinilla	Ácido carmínico
	Quermes	Ácido quermésico
	Tinte laca	Ácidos lacáicos
	Granza o rubia	Alizarina y purpurina
	Caoba de las Indias Occidentales	Rubiadina
	Palo de Brasil	Brazileína
	Cártamo o alazor	Cartamina
Amarillo	Gualda	Luteolina y apigenina
	Bayas persas	Quercetina y kaempferol
	Quercitrón	Quercitrina
	Azafrán	Crocina
	Cúrcuma o turmérico	Curcuminas
Negro/Marrón	Gallaritas	Ácido gálico
	Palo de Campeche	Hematoxilina

ja que suponía la aplicación de mordientes como el alumbre. Asimismo, los Papiros de Leyden y de Estocolmo contienen información relacionada con la tinción de tejidos^[13] en forma de recetas.

Durante la Edad Media,^[13] la destilación mejoró los procesos de extracción de las sustancias colorantes a partir de sus materias primas: plantas (hojas, troncos, raíces, estigmas) o insectos. Asimismo, los procesos de tinción^[13] mejoraron significativamente, al introducir notables avances en el uso del alumbre. Sin embargo, su precio era elevado, así que para los trabajos más económicos se utilizaban otras sustancias como el cremor tártaro, residuo que deja el vino en los recipientes en los que se conserva. A finales de la Edad Media, resultó frecuente emplear una mezcla de alumbre y tártaro, lo que permitía obtener un mordiente de suficiente calidad sin resultar excesivamente caro.

El ascenso de la clase media de comerciantes y artesanos en el siglo XVI originó un notable aumento de la demanda de materiales colorantes,^[13] lo cual se vio favorecido, por una parte, por los avances en los procesos de obtención y, por otro, por las grandes exploraciones marítimas y la colonización de América.

De hecho, la llegada de productos americanos a Europa supuso grandes cambios en el mercado de los tintes para tejidos.^[19,20] Antes de que se exportara la **cochinilla** (*Dactylopius coccus*) y el índigo (a partir de *Indigofera suffruticosa* Mill o de *Indigofera jamaicensis*) desde el continente americano, el **quermes** (en concreto, a partir de la especie *Kermes vermilio* que crece en la coscoja, *Quercus coccifera*) y el **glasto** (*Isatis tinctoria*) se utilizaban en Europa para conseguir el color rojo y el azul, respectivamente. Este rojo era el "carmín" con el que comerciaban los fenicios desde el II milenio a.e.c. A partir de mediados del siglo XVI, la cochinilla y el índigo se popularizaron en detrimento del quermes y del glasto, mucho más caros. Este hecho provocó importantes repercusiones económicas en los países productores de glasto (Alemania y Francia) y de quermes (Italia, Grecia y Francia), los cuales intentaron oponerse a la expansión de los nuevos tintes con diferentes medidas coercitivas,^[19] aunque su éxito era ya imparable.

En el siglo XVIII, los materiales colorantes fueron clasificados en dos grandes grupos según sus características y calidades:^[21] los colorantes de **tinte mayor** o bueno, y los colorantes de **tinte menor** o falso. Como ejemplo del primer grupo tenemos la cochinilla, considerado precioso por sus colores y matices, y muy empleado en España para teñir las fibras, incluso de seda.

En el siglo XIX, la expansión de la industria textil obligó a buscar nuevas fuentes de colorantes,^[18] lo que dio lugar a la tala masiva de maderas tintóreas en Colombia o Brasil, y a problemas sociales y económicos en la India e Indonesia, donde el uso de millones de hectáreas para el cultivo del índigo en detrimento de plantaciones para cultivar alimentos provocó la **Revolución del Añil** en Bengala (India) en 1859. Asimismo, el célebre creador de Sherlock Holmes, **Sir Arthur Conan Doyle**, cuenta en sus memorias que por un saco de cochinillas se pagaba en 1881 lo que él ganaba en dos años como médico en la marina mercante.^[22]

Como ya se ha comentado, la **química de los tintes sintéticos** jugó un papel decisivo en la profesionalización de la actividad científica, especialmente en Alemania,^[5] donde la producción de tintes figura como la primera en la historia que alcanzó proporciones gigantescas, contando con miles de fábricas y de obreros, y generando pingües beneficios en exportaciones.

Color azul

El colorante azul índigo (añil) era muy conocido en la antigüedad, habiéndose encontrado evidencias de su uso en Egipto y la India en el período 2600 – 2000 a.e.c. Se trata de un tinte muy estable y duradero. Plinio el Viejo menciona que, después del tinte púrpura, el índigo era el siguiente en valor.^[15]

Entre otras fuentes, se extrae de las hojas de la *Indigofera tinctoria*, una vez ha sido recolectada, y mediante una serie de reacciones químicas^[3,13], el indicán (un β-glucósido) se transforma en **indigotina** (ver Figura 4), principal componente del índigo (la forma sulfonada se conoce como **carmín de índigo**, que también se utiliza para teñir la lana^[23]).

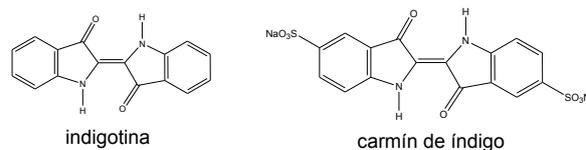


Figura 4. Compuestos químicos relacionados con el tinte azul.

La forma **ceto** del compuesto (ver Figura 5) se reduce a la forma **leuco** (se suele emplear como agente reductor el hidrosulfuro de sodio) en medio fuertemente básico (utilizando hidróxido de sodio). La forma leuco es incolora y muy soluble en agua (puede desprotonarse fácilmente con hidróxido de sodio formando una sal sódica soluble). De este modo penetra en el tejido, desarrollando una gran afinidad por las fibras de celulosa, lo cual resulta clave en el proceso de teñido de, por ejemplo, el algodón. Su oxidación posterior por el oxígeno del aire conduce a la forma ceto, que es intensamente coloreada e insoluble en agua, y que queda atrapada en el tejido.

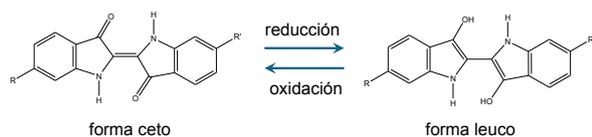


Figura 5. Transformación entre las formas ceto y leuco en la indigotina ($R = R' = H$), constituyente fundamental del índigo, y la 6,6'-dibromoindigotina ($R = R' = Br$), constituyente fundamental de la púrpura de Tiro.

Por otro lado, el índigo no se obtiene exclusivamente de las plantas, sino que puede obtenerse también del molusco *Murex trunculus*.^[15]

El **azul glasto** o pastel tiene una composición y características similares al índigo y, al igual que este, también es conocido desde la antigüedad. De hecho, **Julio César**^[15] destacó su uso por parte de los *Britanni* (habitantes de la isla de Gran Bretaña) en los "Comentarios sobre la guerra de las Galias". Procede de las hojas de la planta *Isatis tinctoria*. De nuevo, una serie de transformaciones químicas permiten obtener indigotina.^[3,13] La planta productora del índigo (*Indigofera*) se cultivaba en la India, mientras que la *Isatis tinctoria*, de la que se extrae el glasto, es muy abundante en toda Europa, por lo cual era mucho más popular durante la Edad Media. A mediados del siglo XVII las importaciones de índigo desde la India se redujeron gracias a las plantaciones que se establecieron en América.

El comercio del índigo en el siglo XIX estaba controlado por Inglaterra, aunque esto cambió cuando la compañía BASF, con **Adolf von Baeyer**, **Heinrich Caro** y **Carl Heumann** a la cabeza (ver Figura 1), consiguieron sintetizarlo en 1897,^[15,22] tras décadas de investigación (Baeyer había empezado sus trabajos en 1865, determinando su fórmula química en 1883). Además, la **serendipia**^a desempeñó un papel crucial: Heumann intentaba mejorar el proceso de síntesis original de Baeyer, que había conseguido la primera patente en 1880. Accidentalmente se rompió un termómetro de mercurio en la mezcla de reacción, y resultó que el mercurio era un excelente catalizador del proceso, lo cual permitió su producción a gran escala. Posteriormente, Baeyer fue galardonado con el **Premio Nobel de Química** en 1905 por "el avance de la química orgánica y de la industria química, a través de su trabajo en colorantes orgánicos y compuestos hidroaromáticos".

Aunque el gobierno británico protegió el índigo natural aplicado a la coloración de los uniformes militares, pronto el índigo sintético dominó el mercado, y la producción de índigo natural prácticamente ha desaparecido desde entonces.

Un problema del índigo es su desgaste por fricción, como suele suceder en los "tejanos" o "pantalones vaqueros". A mediados del siglo XIX, **Levi Strauss**, un empresario alemán que ha-

bía emigrado a Nueva York siendo muy joven, fundó la primera compañía productora de pantalones vaqueros. Estos pantalones se hicieron muy populares porque, debido a su desgaste, no había dos pares iguales,^[20] y su éxito entre los consumidores ha sido continuo desde finales de la década de 1960.

Color púrpura

El origen de la **púrpura de Tiro** o púrpura imperial^[4,13,15] se remonta a los fenicios, que destacaron por la producción de telas de intensos colores, estableciendo una importante industria del tinte en el siglo XIV a.e.c.^[3] El color púrpura se convirtió muy pronto en un símbolo de estatus social, estando reservado exclusivamente a los altos dignatarios (emperadores, reyes y papas). En la célebre batalla de *Actium* (31 a.e.c.), el barco de **Cleopatra** lucía una vela púrpura, y en el siglo I **Nerón**, a la sazón emperador romano, decretó que únicamente el emperador tenía derecho a vestir prendas de color púrpura imperial.^[24,25] La primera mención a la "púrpura real o imperial" se encontró en una tableta de barro de Cnosos, en Creta, fechada en el siglo XIII a.e.c.^[17] Plinio el Viejo describió con detalle el proceso de producción del tinte, desde la misma captura de los moluscos. En algunos momentos su valor fue de 10 a 20 veces su peso en oro.^[24,25] La industria de este tinte se desplomó hacia el siglo VII, y su producción en masa cesó en el siglo XV.

El líquido que producía el tinte se extraía de la glándula mucosa de algunas especies de moluscos que habitaban la región mediterránea (ver Figura 3), como *Bolinus brandaris* (también llamado *Murex brandaris*). Tal y como ocurría con la planta del índigo, el tinte no está presente en el molusco vivo, sino que se obtiene por hidrólisis enzimática de precursores presentes, en este caso, en una estructura glandular del molusco. El fluido extraído es inicialmente de color blanquecino (forma leuco), pero por la acción combinada del aire y de la luz adquiere, en etapas sucesivas, las coloraciones amarilla, azul, verde y, finalmente, púrpura. De entre las sustancias formadas destaca la **6,6'-dibromoindigotina**, de color violeta rojizo (ver Figura 6).

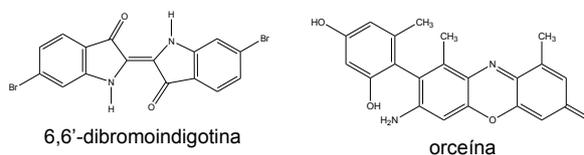


Figura 6. Compuestos químicos relacionados con el tinte púrpura. La púrpura de Tiro, cuyo componente principal es la 6,6'-dibromoindigotina, tuvo una gran importancia histórica, aunque ya no está disponible comercialmente.

Existe una gran similitud entre las moléculas responsables del color del índigo y la púrpura de Tiro (ver Figura 5), incluyendo la posibilidad de reducción a una forma leuco que es muy soluble en agua^[15]. La presencia de los dos átomos de bromo en la púrpura de Tiro es la causa del desplazamiento hipsocrómico,^[15] esto es, a una menor longitud de onda, del máximo de absorción con respecto al índigo, lo que conduce al cambio de color de azul a púrpura. La forma leuco es absorbida por el tejido, y la oxidación posterior por exposición al aire produce el tinte coloreado, y en aquella época se debía conocer por la experiencia que el proceso era más eficiente en presencia de luz solar.^[24,25]

La obtención era muy costosa, ya que se necesitaban 10 000 ejemplares del molusco para obtener 1 g de tinte,^[18,24] lo

^a Hallazgo valioso que se produce de manera accidental o casual.

cual explica su alto precio. Los ejemplares, una vez capturados y depositados en estanques artificiales, se machacaban hasta convertirlos en una pasta. Seguidamente, se llenaba el estanque con sal y se dejaba secar al sol durante unos días, dejando que una reacción fotoquímica convirtiera esa mezcla en un intenso tinte de color púrpura.

Efectivamente, al requerirse la acción de la luz, el proceso clave debía ser de tipo fotoquímico. En 1685, **W. Cole** descubrió que un fluido incoloro en las glándulas hipobranquiales de ciertos moluscos marinos se tornaba rojo por exposición a la luz. En 1908 **Paul Friedländer** (ver Figura 1) consiguió aislar el compuesto principal de la **púrpura de Tiro** del molusco *Murex brandaris*.^[15,24] Después se comprobó que el compuesto 6,6'-dibromoindigitina también era un componente mayoritario de los tintes procedentes de otras especies de moluscos del Mediterráneo y de otras regiones.

Ya en el siglo XIX se utilizaba un colorante púrpura extraído del guano, la **muréxida**, que tuvo un gran éxito entre 1855 y 1863, presentándose como la púrpura de Tiro redescubierta.^[4,22,26] Sin embargo, su síntesis era cara, y pronto encontró competencia con nuevos colorantes obtenidos a partir del alquitrán, un subproducto de la producción del gas de alumbrado por destilación de la hulla.

Por otro lado, los tintes procedentes de líquenes fueron utilizados para imitar la púrpura procedente de los moluscos. Estos tintes se obtenían por fermentación de extractos procedentes de líquenes de diferentes especies en presencia de amoníaco y aire. Un ejemplo es la orchilla, un líquen del cual se extrae la **orceína** (ver Figura 6), un colorante de color rojo violáceo (púrpura). Este compuesto tiene una larga tradición en su uso como colorante para teñir fibras textiles, como la lana. Precisamente, en la misma época que la muréxida apareció otro tinte conocido como **púrpura francés**, un colorante de origen vegetal preparado en 1856 por un tintorero de Lyon a partir de la orchilla, y que podía aplicarse sobre seda y lana sin necesidad de mordiente,^[26] aunque tampoco tuvo mucho éxito.

La fabricación industrial a gran escala de tinte púrpura representa otro famoso caso de serendipia.^[5,26,27] En 1856, **William Henry Perkin**, discípulo de **August Wilhelm von Hofmann** (ver Figura 1), intentaba sintetizar quinina para tratar la malaria. Hofmann se había trasladado a Londres en 1845, por la intervención personal del príncipe consorte Alberto de Sajonia, esposo de la Reina Victoria,^[5] para convertirse en el primer director del *Royal College of Chemistry*, lo cual le permitió formar a muchos de los químicos británicos involucrados en la próspera industria de los tintes.

En uno de sus experimentos para sintetizar quinina, al oxidar anilina con dicromato de potasio y ácido sulfúrico, Perkin obtuvo un precipitado negruzco que se disolvió parcialmente en alcohol, dando lugar a un bello color púrpura: había descubierto la malveína, el primer colorante orgánico sintético que se comercializó con éxito,^[4,6,14] vendiéndose como sal de acetato, aunque también se utilizaron otros iones, como sulfato y cloruro.^[15,27] Ya no se utiliza en procesos de teñido, pero tiene una gran importancia histórica. Aunque se sabía que la anilina se coloreaba en presencia de sustancias oxidantes, fue mérito de Perkin sintetizar el colorante y descubrir su capacidad tintórea. De hecho, con anterioridad Hofmann había descubierto una nueva clase de colorantes de la anilina,^[22] los "violetas de Hofmann", que adquirieron gran importancia. El éxito de Perkin se debió a que también prestó mucha atención a las necesidades de los potenciales consumidores, ideando métodos para fijar el tinte al algodón, la seda y la lana.

Perkin fue capaz de proponer una fórmula molecular para la malveína, pero su estructura molecular no fue determinada

hasta 1994.^[26-29] De hecho, el tinte estaba constituido, en realidad, por una mezcla compleja de compuestos, donde destacan las denominadas malveínas A y B,^[4] y cuya composición puede variar según el proceso de preparación del tinte y los materiales de partida utilizados (ver Figura 7a). De hecho, parece ser que Perkin utilizó sulfato de anilina que, sin él saberlo, contenía impurezas de diferentes isómeros de toluidina,^[4,6] por lo que la carta de patente original ofrece solo información limitada para su síntesis.

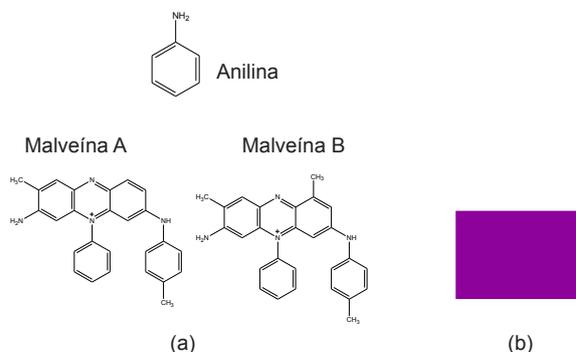


Figura 7. (a) Estructuras de la anilina, la malveína A y la malveína B. (b) Color de la malveína.

La **púrpura de Perkin**^[4,5,22,26] fue el primer tinte estrictamente sintético de la historia, y popularizó el malva (ver Figura 7b) entre la aristocracia europea, fascinando a la Reina Victoria del Reino Unido o a la Emperatriz Eugenia de Francia. El interés comercial de este tinte abarcó el período entre 1857 y 1864. **Perkin** registró sus patentes entre 1856 y 1857. Ese mismo año se extendió su patente a Francia, pero por un error el colorante pasó a ser de dominio público. Paradójicamente, este problema resultó ser una ventaja, ya que hizo crecer la demanda del producto original, contribuyendo decisivamente al éxito de la empresa Perkin&Sons, que el propio Perkin había fundado con su padre y su hermano. El tinte cumplía todos los requisitos para constituir un éxito comercial: exhibía un color atractivo, y era resistente al lavado y también al deterioro por causa de la luz o de la polución.^[27] La malveína teñía la seda con facilidad, sin requerir de mordiente. Para la lana Perkin utilizó aluminio o hierro.

El trabajo de Perkin estimuló nuevas investigaciones tomando como base la anilina. En 1859, el químico francés **Emmanuel Verguin** logró un colorante rojo por oxidación de la anilina con tetracloruro de estaño: la **fucsina**.^[15,22,26] La síntesis de la malveína o de la fucsina eran el resultado de investigaciones empíricas, en gran parte basadas en el ensayo y error, ya que por aquel entonces se estaban sentando las bases de la química moderna. A partir de la segunda mitad del siglo XIX, gracias a las nuevas herramientas conceptuales que fueron desarrollándose, especialmente en la teoría atómica y molecular, la base teórica de la química mejoró, permitiendo a la industria alemana superar a la francesa, con lo que se sintetizaron múltiples colorantes a precios asequibles. De hecho, pronto se logró la síntesis de dos colorantes naturales complejos: la alizarina y el índigo.^[15,22]

Color rojo

Hasta principios del siglo XVI, la mayoría de los tintes rojos^[3,4,13,20,30] se producían a partir de plantas como la **rubia roja** (*Rubia tinctorum*) y, en menor medida, el bigotillo (*Caesalpinia pulcherrima*). Respecto a los tintes procedentes de insectos, destacan la **cochinilla** americana o del carmín (*Dactylopius coccus*), el quermes o cochinilla de las encinas (*Kermes vermilio*), la co-

chinilla polaca (*Porphyrophora polonica*), la cochinilla armenia (*Porphyrophora hamelii*) y la cochinilla laca (*Kerria lacca*). En general, se trata de tintes de mordiente. Los tintes de insectos producían mejores colores, pero eran mucho más caros. Las moléculas responsables del color de estos tintes, tanto de origen entomológico como vegetal, son derivados de la **antraquinona** (ver Figura 8).

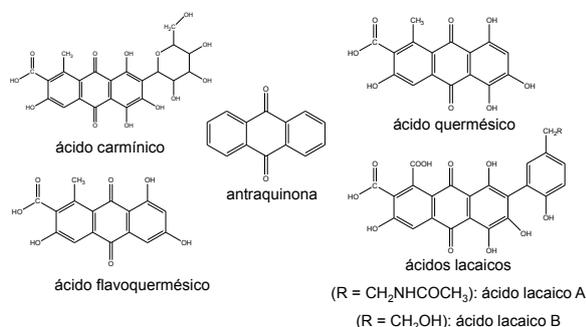


Figura 8. Compuestos químicos, procedentes de insectos, relacionados con el tinte rojo.

Durante la Edad Media los tintoreros usaban el quermes para obtener el tinte rojo. Ya se venía utilizando en Europa desde la época de los romanos, y Plinio el Viejo lo menciona como un tinte reservado a los uniformes de los generales del ejército.^[30] En 1996 se halló en Francia un sarcófago^[18] que contenía los restos del padre o del abuelo de **Guillermo III Tallaferro** (947 – 1037), conde de Tolosa, encontrándose restos de ropa teñida de rojo que habrían requerido el sacrificio de al menos 50 000 insectos del género *Kermes*. El colorante se extraía machacando el insecto seco y tratándolo con lejía. Este tinte es de color rojo carmesí y sus principales componentes son los **ácidos quermésico** y **flavoquermésico** (ver Figura 8). El producto se obtenía de diminutas larvas que se encontraban en gallaritas (excrecencias de tipo tumoral que salen en los robles, inducidas por insectos, para aislar el tejido externo de un ataque o de una infección) y de cochinillas presentes en gran parte de Europa, aunque las que producían el mejor tinte se hallaban en Alepo,^[31] en Siria. Cabe destacar que la grana (quermes) se ofrecía como tributo a Roma desde Oriente Medio.^[31]

Por otro lado, el papa Pablo II decidió en 1467 que las vestiduras de los cardenales, otrora teñidas de púrpura, fueran teñidas con cochinilla^[3,4,21,30,32] cuando el comercio con la industria de los tintes procedentes de moluscos declinaba por su sobreexplotación.

El colorante procedente de la cochinilla armenia ya era empleado en Armenia, Turquía e Irán desde el siglo VIII a.e.c.,^[3,21] con uso de mordientes de estaño. También se utilizaba el tinte procedente de la cochinilla polaca desde, al menos, el siglo VI en el centro y norte de Europa, especialmente cuando el quermes era difícil de obtener, como ocurría en épocas de conflictos militares. Asimismo, el tinte procedente de cochinillas laca, cuyo componente principal lo constituyen los **ácidos lacaicos** (ver Figura 8), fue muy popular en Asia cientos de años antes de ser introducido en Europa, hacia el siglo XVIII.

Sin embargo, a principios del siglo XVI, con la introducción de la cochinilla americana, criada sobre los nopales o tunas (un tipo de cactus), se produjo una revolución en la tinción de tejidos y su uso se extendió en detrimento de los otros tintes rojos.^[30] Este producto consiste mayoritariamente en ácido carminico (ver Figura 8), igual que el procedente de la cochinilla armenia. Históricamente existe cierta confusión con estos productos,

dada la gran cantidad de nombres comerciales y, más recientemente, los problemas científicos en desentrañar sus estructuras moleculares. Así, los términos “cochinilla”, “extracto de cochinilla”, “ácido carminico”, “carmin”, o “ácido aminocarminico” se han venido utilizando sin una descripción precisa.^[31] Lo que conocemos como **carmin** es un complejo de aluminio con **ácido carminico** (ver Figura 9).

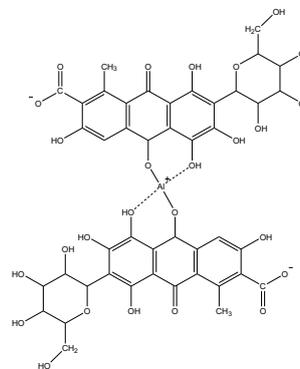


Figura 9. Estructura química del carmin.

En América se han encontrado evidencias del uso de la pasta de cochinilla en épocas muy anteriores a la conquista española, entre los aztecas, los mayas y los incas,^[30,31] constituyendo además un importante tributo en las sociedades precolombinas. Los españoles pronto mostraron un gran interés en identificar el origen del precioso tinte. El color era originario de los panes de *nocheztli*, como era conocido en el mercado azteca.^[21] El misionero franciscano **Bernardino de Sahagún**, autor de la “Historia general de las cosas de la Nueva España” (entre 1540 y 1585), describe cómo se vendía a pintores y tintoreros el *nocheztli*, preparado en forma de panes formados por una masa compacta de insectos, que se preparaba y dejaba secar, con la finalidad de garantizar la conservación del producto y facilitando también el transporte. Como mordiente se solía utilizar el alumbre.^[30] Estos insectos parasitan ciertas especies de cactus, pero solo unas cuantas son favorables para propósitos comerciales, destacando la especie *Opuntia indicamil*. En México y Sudamérica se practicó la selección artificial conjunta de cactus e insectos, específica para ciertas regiones geográficas, con la finalidad de mejorar el producto obtenido.^[31] En 1599, **Gonzalo Gómez de Cervantes**^[30] documentó el cultivo, recolección y secado de las cochinillas en un informe preparado para el virrey de Nueva España, **Don Luis de Velasco**, incluyendo también información sobre el cuidado de los cactus. Y en 1653, el misionero español **Bernabé Cobo**^[30] describió el uso del tinte, incluyendo el mordiente y la adición de otras sustancias ácidas o alcalinas para cambiar el color natural rosa brillante de la cochinilla al carmesí (y a otras tonalidades) en su obra “Historia del Nuevo Mundo”. En el siglo XVIII la cochinilla se usaba en Europa para obtener dos colores: el carmesí y el escarlata.^[30]

El primer cargamento documentado de cochinilla enviado a España data de 1523, y su comercio durante la época colonial constituyó un recurso económico equivalente al del oro y la plata. De hecho, entre 1758 y 1858 se exportaron 27 000 toneladas de cochinilla desde México a Europa.^[3] Durante mucho tiempo España mantuvo el monopolio del tinte rojo procedente de América, pese a que muchas naciones intentaron obtenerlo mediante el espionaje y el robo. Por ejemplo, en 1776, el botánico francés **Thierry de Menonville** fue enviado a México para robar el insecto. Sin embargo, el origen químico del tinte era desconocido, lo cual complicaba la tarea de saber qué y dónde buscar. Dado que las plantaciones de cochinilla esta-

ban muy vigiladas, los ladrones cazaban cochinillas salvajes (cuyo contenido en tinte era insuficiente), y luego las utilizaban con cactus plantados en cualquier lugar donde pudieran crecer. Llevó mucho tiempo percatarse de que se requerían cepas específicas de insectos y cactus que, además, habían sido deliberadamente optimizadas para los requerimientos de un área geográfica concreta.^[30,31]

La cochinilla de América, que tiene su origen en México, presenta una gran similitud con el insecto mediterráneo, la grana o quermes, no solo por pertenecer a la misma familia de los cocidios, sino porque su principio colorante, el ácido carmínico, es muy similar al principio tintóreo del quermes, el ácido quermésico (que no contiene el fragmento de carbohidrato, ver Figura 8).

Respecto al carmín de cochinilla, hay que destacar la aportación del ingeniero holandés **Cornelius Drebbel**, que a principios del siglo XVII introdujo el uso del cloruro de estaño como mordiente,^[3,13] lo cual mejoraba la calidad, en cuanto a brillo y durabilidad, de los tintes obtenidos.

Actualmente, el principal productor de cochinilla es Perú, aunque también destaca la **cochinilla de Canarias**,^[21] importada de América y criada en el archipiélago desde el siglo XIX, que es un producto que cuenta con Denominación de Origen Protegida.^[33]

Por otro lado, respecto a los tintes rojos de origen vegetal, destaca la granza rubia, que procede de la granza o rubia roja (*Rubia tinctorum*). Los colores obtenidos no eran tan brillantes como los obtenidos a partir del quermes, y por ello se utilizaba como tinte rojo para las clases bajas.^[31] La rubia roja procede de la India, pero en períodos de alta demanda fue extensivamente cultivada en Europa y en Oriente Próximo. De nuevo, las moléculas responsables del color pertenecen al grupo de las antraquinonas,^[3,13] mayoritariamente **alizarina** y **purpurina** (ver Figura 10), también presentes en las raíces de otras especies de la familia de las rubiáceas. Originariamente, la primera se encuentra en forma glucosídica (ácido ruberítrico) y la segunda en su forma carboxilada (**pseudopurpurina**). Con el paso de tiempo y una vez seca la raíz, la pseudopurpurina experimenta un proceso de descarboxilación y se transforma en purpurina. El colorante se extrae de la raíz seca que, una vez reducida a polvo, se trata con agua caliente. El color amarillento inicial de la disolución adquiere finalmente un color rojizo, debido a la hidrólisis del ácido ruberítrico y su transformación en alizarina y glucosa.

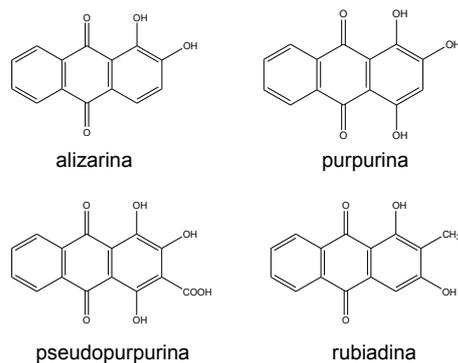


Figura 10. Compuestos químicos, procedentes de plantas, relacionados con el tinte rojo.

La alizarina es otro tinte que precisa de mordiente y sirve para teñir el algodón, la lana y la seda. Es un tinte rojo muy apreciado y con una larga tradición histórica. En el siglo XVIII se utilizaba para teñir de rojo el uniforme del ejército inglés^[32] (y de ahí el sobrenombre de "casacas rojas"). Fue aislada en el laboratorio en 1826, y también fue empleada desde 1835 para teñir los uniformes de la infantería y de la caballería del ejército

francés.^[22] En 1869, **Karl Graebe** y **Karl Libermann**, ayudantes de Adolf von Baeyer en Berlín, determinaron la estructura molecular del compuesto, lo que les permitió sintetizarla a partir del antraceno, gracias a la colaboración de Heinrich Caro. De nuevo, estamos ante un caso de serendipia, ya que su síntesis se basaba en la oxidación del antraceno con ácido nítrico para formar antraquinona. Después, la antraquinona debía reaccionar con ácido sulfúrico. Graebe y Libermann no consiguieron culminar la síntesis, y Caro también tuvo muchas dificultades. En un ensayo, Caro se ausentó un momento de su laboratorio. Al regresar, observó que se había producido un recalentamiento, y parte de la mezcla de reacción se había incrustado en el techo del laboratorio,^[22] pero el resto del matraz constituía el producto deseado. Sin este feliz accidente, Caro no habría conseguido deducir que la reacción que buscaba solo se producía a una temperatura muy elevada, que ningún químico razonable habría utilizado por temor a destruir la antraquinona, y por el peligro del uso de ácido sulfúrico.

Curiosamente, Perkin patentó su proceso de síntesis de la alizarina por esa misma época, lo que les condujo a colaborar e intercambiar información. Esto llevó a una mejora del proceso y a un abaratamiento del producto. De hecho, hacia 1871 su precio era tan competitivo comparado con la rubia roja que se considera el origen de la expansión de la industria química en Alemania.^[3]

Por otra parte, la **rubiadina**^[3,34] (ver Figura 10), también derivada de la antraquinona, se puede extraer de la corteza de la caoba de las Indias Occidentales (*Swietenia mahagoni*) y de la planta conocida como mora de la India (*Morinda citrifolia*), y resulta especialmente adecuada para teñir seda usando como mordiente el dicloruro de magnesio o el sulfato de hierro (II). También se pueden extraer tintes rojos de otros árboles^[3], como la **brazilina** (en realidad, la molécula responsable del color es la **brazileína**, una forma oxidada del compuesto anterior) del palo de Brasil o del brasilete de la India, o de otras plantas, como la **cartamina**, procedente del cártamo o alazor (ver Figura 11).

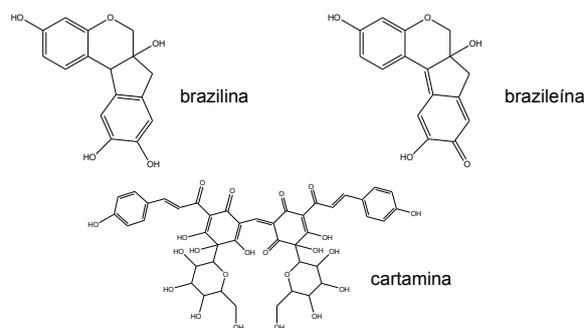


Figura 11. Otros compuestos químicos, procedentes de plantas y árboles, relacionados con el tinte rojo.

Color amarillo

Los tintes amarillos^[3,4,20] presentan flavonoides (flavonas y flavonoles) como responsables de su color (ver Figura 12). Son tintes de mordiente.

La **gualda** (*Reseda luteola*), crece y se cultiva en gran parte de Europa, por lo que su uso fue muy común hasta finales del siglo XIX. Cuando se utiliza con alumbre como mordiente produce colores amarillos muy brillantes debido a la presencia de **luteolina** y **apigenina**. También destaca la hiniesta (*Genista tinctoria*), a partir de la cual se extrae un tinte amarillo cuyos componentes principales son la **luteolina** y la **genisteína** (ver Figura 12).

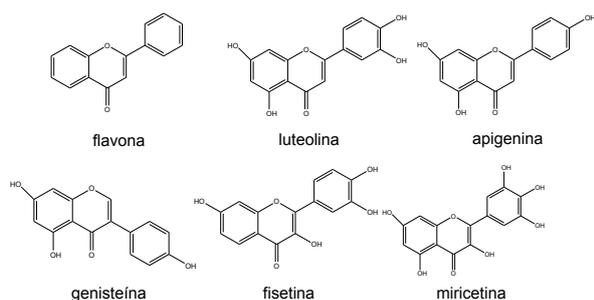


Figura 12. Compuestos químicos relacionados con el tinte amarillo.

Por otro lado, el árbol de las pelucas (*Cotinus coggygria*), presente en el sureste de Europa (Italia, Francia y España), entre otras regiones, se ha utilizado desde la Edad Media para producir tinte amarillo gracias a la acción de la **fisetina**, la **miricetina** y la **sulfuretina** (ver Figuras 12 y 13).

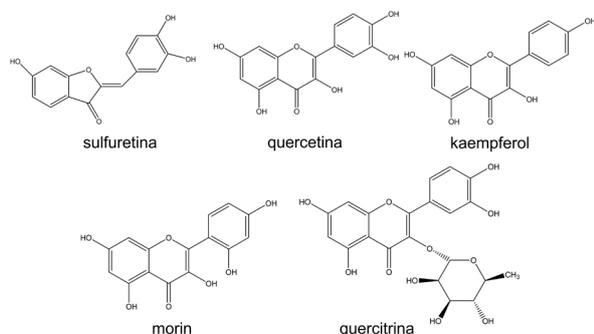


Figura 13. Otros compuestos químicos relacionados con el tinte amarillo.

Además, las bayas persas (arbustos y pequeños árboles del género *Rhamnus*) contienen un gran número de flavonoides, entre los que destacan la **quercetina** y el **kaempferol** (ver Figura 13). Por otro lado, el árbol conocido como brazo de fuego (*Maclura tinctoria*), presente en Cuba, Jamaica o Puerto Rico, y que se introdujo en Europa en el siglo XVI, proporciona un tinte amarillo brillante (gracias al morin y el kaempferol), que actúa con rapidez en los tejidos cuando se usa con mordientes.

El principio activo del **quercitrón**^[20] es la quercitrina (ver Figura 13), glucósido formado a partir del flavonoide quercetina y el monosacárido ramnosa. Se obtiene de la encina tintorea (*Quercus velutina*), importada de Norteamérica a finales del siglo XVIII y con un contenido en tinte muy interesante.

Por otro lado, el **azafrán**, obtenido de los estigmas secos de las flores de *Crocus sativus*, tiene una larga historia de uso como tinte directo (esto es, se puede aplicar directamente sobre las fibras), produciendo un color amarillo anaranjado gracias a la **crocina** (ver Figura 14). Se puede utilizar con alumbre como mordiente.

Finalmente, la **cúrcuma** o turmérico, también conocida como azafrán indio, se obtiene de las raíces de la planta *Curcuma domestica*. Se utilizaba como tinte directo en algodón, lana o seda, en combinación con otros tintes, gracias a la acción de su mezcla de **curcuminas I, II y III** (ver Figura 14).

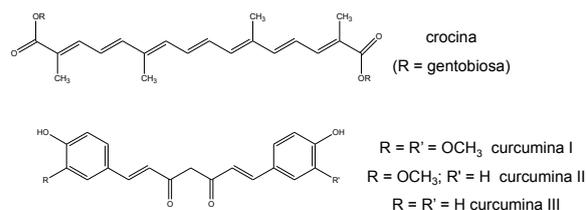


Figura 14. Más compuestos químicos relacionados con el tinte amarillo.

Otros colores

Varios colores diferentes de los ya citados se pueden obtener mezclando diferentes tintes. Por ejemplo, los colores verdes se obtienen mezclando tintes azules y amarillos.^[3]

A diferencia de las luces de diferentes colores, que se mezclan de forma **aditiva** (así, la adición, en igual intensidad, de los tres colores primarios de la luz, verde, azul y rojo, resulta en grises claros, que tienden idealmente al blanco), la mezcla de tintes y pigmentos es **sustractiva**: algunas de las longitudes de onda de la luz blanca son eliminadas por absorción, y la luz reflejada (por ejemplo, desde una superficie pintada o un tejido coloreado) o la luz transmitida (como se ve a través de un cristal o de una disolución) es coloreada.^[12] Esta **síntesis sustractiva** es la que tiene lugar al imprimir documentos en color, y los tres colores primarios son la tríada cian (C) - magenta (M) - amarillo (AM), a los que se une el color negro (N). Si un material absorbe los tres colores primarios, no queda prácticamente luz para ser reflejada o transmitida y el material se muestra negro o casi negro (C + M + A = N). El negro generado por la mezcla de colores primarios sustractivos no es tan profundo como el color negro puro (uno que absorbe todo el espectro visible). Por ello se utiliza el cartucho negro en las impresoras, lo cual genera un mejor contraste.

Aparte de mezclar otros colores, también se puede extraer tinte negro de fuentes naturales.^[3,20] Como fuentes vegetales de marrón y negro destacan las gallaritas o las plantas del género *Rhus*, a partir de los que se obtienen tintes de mordiente. La clave de su color la proporcionan los taninos, debido a la presencia en estos polímeros de estructuras como la del **ácido gálico** o el **ácido elágico** (ver Figura 15).

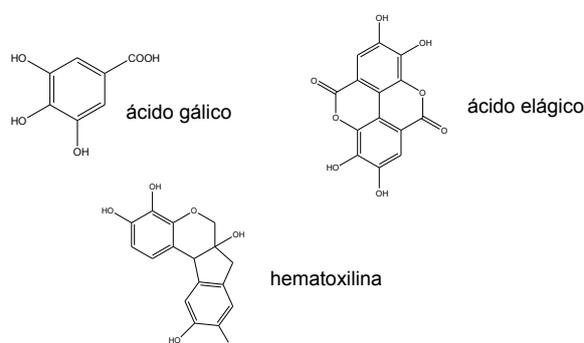


Figura 15. Compuestos químicos relacionados con tintes marrones y negros.

Las gallaritas constituyeron una fuente importante de tintes marrones y negros gracias a su alto contenido en taninos. En este caso, se produce un tinte de color negro que se puede utili-

zar con un mordiente de hierro. Estas gallaritas se forman como reacción de brotes del roble *Quercus infectoria* a los huevos de un insecto, en concreto una avispa del género *Cynips*. Por otro lado, diferentes especies de *Rhus* presentan altos niveles de taninos en sus hojas. Este tinte fue conocido y utilizado en Egipto, Grecia y Roma.

Asimismo, el negro también se puede obtener a partir del palo de Campeche^[20] o palo de tinte (*Haematoxylum campechianum*), del cual se obtiene la **hematoxilina** (ver Figura 15).

Conclusiones

Los tintes han sido muy importantes desde la antigüedad, y en muchos casos han destacado como artículos de lujo. Durante mucho tiempo estos compuestos eran obtenidos a partir de seres vivos: vegetales, insectos y moluscos. El avance de la química como disciplina científica permitió entender los procesos químicos subyacentes en la elaboración de los tintes y en su aplicación a los tejidos, así como la síntesis de estos compuestos en el laboratorio y la producción de nuevos tintes con mejores propiedades.

Bibliografía

- [1] N. Hester, E. Hehman, *Pers. Soc. Psychol. Rev.* **2023**, 27, 414–433.
- [2] J. V. García Marsilla, *Anales de Historia del Arte* **2014**, 24, 227–244.
- [3] E. S. B. Ferreira, A. N. Hulme, H. McNab, A. Quye, *Chem. Soc. Rev.* **2004**, 33, 329–336.
- [4] D. García Bello, *La Química de Lo Bello*, Editorial Paidós, Barcelona, **2023**.
- [5] J. M. Sánchez Ron, *El Jardín de Newton: La Ciencia a Través de Su Historia*, Editorial Crítica, Barcelona, **2009**.
- [6] T. F. G. G. Cova, A. A. C. C. Pais, J. S. Seixas De Melo, *Sci. Rep.* **2017**, 7, <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07239-z>.
- [7] T. A. Khattab, M. S. Abdelrahman, M. Rehan, *Environ Sci Pollut Res* **2020**, 27, 3803–3818.
- [8] J. Che, X. Yang, *Heliyon* **2022**, 8, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10979>.
- [9] A. Marcos, "Las sustancias químicas de la ropa pueden perjudicar la salud" disponible en <https://www.agenciasinc.es/Reportajes/Las-sustancias-quimicas-de-la-ropa-pueden-perjudicar-la-salud>, **2019** (consultado 29/11/2024).
- [10] Parlamento Europeo "El impacto de la producción textil y de los residuos en el medio ambiente," disponible en <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20201208S-T093327/el-impacto-de-la-produccion-textil-y-de-los-residuos-en-el-medio-ambiente>, **2024** (consultado 29/11/2024).
- [11] A. Gürses, M. Açıkıldız, K. Güneş, M. S. Gürses, in *Dyes and Pigments*, Springer, Cham., **2016**, pp. 13–29.
- [12] J. J. Serrano-Perez, *An. Quim.* **2019**, 115, 314–320.
- [13] M. San Andrés, N. Sancho, J. M. De la Roja, *An. Quim.* **2010**, 106, 58–65.
- [14] A. Kumar, U. Dixit, K. Singh, S. Prakash Gupta, M. S. Jamal Beg, in *Dyes and Pigments - Novel Applications and Waste Treatment* (Ed.: Raffaello Papadakis), IntechOpen, **2021**.
- [15] R. J. H. Clark, C. J. Cooksey, M. A. M. Daniels, R. Withnall, *Endeavour* **1993**, 17, 191–199.
- [16] Z. C. Koren, *Dye Hist. Archaeol.* **1995**, 27–37.
- [17] I. Karapanagiotis, *Sustainability* **2019**, 11, <https://doi.org/10.3390/su11133595>.
- [18] D. Cardon, *Investigación y Ciencia Temas 27 El color* **2002**, 27, 36–41.
- [19] M. Vázquez de Agredos Pascual, M. Domenech Carbo, D. Yusa Marco, S. Vicente Palomino, L. Fuster López, *Arché* **2007**, 131–136.
- [20] K. G. Gilbert, D. T. Cooke, *Plant Growth Regul.* **2001**, 34, 57–69.
- [21] A. Batista Dos Santos, S. Vicente Palomino, D. Yusa Marco, *Arché* **2007**, 103–108.
- [22] G. Bram, N. T. Anh, *Investigación y Ciencia Temas 27 El color* **2002**, 27, 42–47.
- [23] S. Komboonchoo, T. Bechtold, *J. Clean. Prod.* **2009**, 17, 1487–1493.
- [24] P. E. McGovern, R. H. Michel, *Acc. Chem. Res.* **1990**, 23, 152–158.
- [25] P. E. McGovern, R. H. Michel, *Anal. Chem.* **1985**, 57, <https://doi.org/10.1021/ac00291a002>.
- [26] A. S. Travis, *Technol. Cult.* **1990**, 31, 51–82.
- [27] M. M. Sousa, M. J. Melo, A. J. Parola, P. J. T. Morris, H. S. Rzepa, J. Sérgio Seixas De Melo, *Chem. Eur. J.* **2008**, 14, 8507–8513.
- [28] J. Seixas De Melo, S. Takato, M. Sousa, M. J. Melo, A. J. Parola, *Chem. Comm.* **2007**, 2624–2626.
- [29] O. Meth-Cohn, M. Smith, *J. Chem. Soc. Perkin 1* **1994**, 5–7.
- [30] E. Phipps, *Metropolitan Museum of Art Bulletin* **2010**, 67, 4–48.
- [31] R. W. Dapson, *Biotech. Histochem.* **2007**, 82, 173–187.
- [32] C. G. Wood, *ChemMatters* **1986**, 4.
- [33] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación "D.O.P. Cochinilla de Canarias," disponible en <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-diferenciada/dop-igp/cochinilla-cochinilla-de-canarias.aspx>, **2016** (consultado 29/11/2024).
- [34] M. Ahsanul Haque, G. M. Arifuzzaman Khan, M. Ahsanul Haque, S. M. Abdur Razzaque, K. Khatun, A. Kumar Chakraborty, M. Shamsul Alam, *Indian J. Fibre Text. Res.* **2013**, 38, 280–284.



Juan José Serrano Pérez

IES Berenguer Dalmau, Departamento de Física y Química, c/Blasco Ibáñez, 46470, Catarroja, Valencia

E: jj.serranoperez@edu.gva.es
ORCID: 0000-0002-2203-7758

Doctor en Química, en la especialidad de Química Teórica y Computacional, cuyas áreas de investigación son el estudio teórico de la fotofísica y fotoquímica de compuestos de interés biológico y farmacéutico, mecanismos de reacciones fotoquímicas y propiedades optoelectrónicas de materiales orgánicos. Ha ocupado diferentes puestos como investigador y docente en la Universitat de València, la Universitat de Barcelona, el Imperial College London, la Universidad Isabel I y la Universidad Europea de Valencia. En 2019 obtuvo por oposición una plaza en el Cuerpo de Profesores de Enseñanza Secundaria, en la especialidad de Física y Química.