



FACULTAD DE FARMACIA

QUÍMICA DEL COLOR



Antonio María Gómez Pareja



TRABAJO FIN DE GRADO

QUÍMICA DEL COLOR

Grado en Óptica y Optometría

Facultad de Farmacia

Universidad de Sevilla

Presentación: 8 Julio 2020

Departamento de Química Analítica

Tipología del trabajo: bibliográfico

Alumno: Antonio María Gómez Pareja

Tutora: María Dolores Hernanz Vila

ÍNDICE

1. Resumen	5
2. Introducción	6
2.1. La noción de la luz visible en el ser humano	6
2.2. La percepción del color por descomposición, absorción y emisión lumínica	7
2.3. Fisiología de la visión humana	8
2.4. Pigmentos y colorantes	8
3. Objetivos de la revisión	10
4. Metodología	10
5. Resultados y discusión	11
5.1. La naturaleza de la luz en nuestro entorno	11
5.2. Descomposición, emisión y absorción de la luz	13
5.3. El color	14
5.4. La percepción del color	16
5.5. La fisiología de la visión y el color	17
5.6. Los pigmentos: generadores naturales de colores	21
5.6.1. Los pigmentos naturales	21
5.6.2. Carotenoides	22
5.6.3. Flavonoides	23
5.6.4. Clorofila	24
5.6.5. Betalaínas	24
5.7. Los colorantes	25
5.7.1. Colorantes minerales	27
5.7.2. Colorantes sintéticos	27
6. Conclusión	28
7. Bibliografía	30

1. RESUMEN

Introducción. La percepción del color es una capacidad adaptativa y de supervivencia de los seres vivos. Conocer cómo se produce el color y los mecanismos de su percepción, permite seleccionar o diseñar diferentes agentes generadores para muchas aplicaciones cotidianas y estrategias médicas de diagnóstico e intervención en caso de anomalías. En este trabajo de revisión se han revisado los conceptos fundamentales del color, los mecanismos fisiológicos y los compuestos químicos que generan color. *Metodología.* En una etapa preliminar la exploración de información se realizó empleando base de datos (Pubmed, Google académico, Sciencedirect y Dialnet) con los términos de búsqueda “color” y “química del color”, y se limitó al título o resumen, en el período de 2015 a 2020. *Resultados y discusión.* De la revisión se puede extraer que las sustancias en sí mismas no poseen color, sino que reflejan luz que, una vez captada por fotorreceptores biológicos, es transducida en color y que los objetos pueden estar compuestos de pigmentos o colorantes, de forma natural o por incorporación deliberada, estos son agentes muy eficaces reflejando luz visible y por lo tanto generando color. *Conclusiones.* Los pigmentos y colorantes pueden obtenerse de fuentes biológicas o sintéticamente.

Palabras claves: fisiología del color, pigmento, colorante.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. La noción de la luz visible en el ser humano

La visión humana nos proporciona uno de nuestros principales medios para el aporte de información de nuestro entorno, presentándose como el sistema sensorial más sofisticado y altamente especializado en el ser humano. Dentro del campo de estudio de la visión humana se encuentra el estudio de la visión del color. Para su estudio en profundidad resulta crucial un abordaje amplio desde diferentes campos científicos (Hofmann y Palczewski, 2015), por lo que en el siguiente estudio se procederá a desglosar cada uno de los factores que intervienen en el proceso de visión humana.

El primer objeto de estudio necesario para la comprensión del proceso es la noción de luz visible para el ser humano. La luz está compuesta por fotones con propiedades de onda y de partícula que conllevan una energía definida por la longitud de onda de la radiación en cuestión. Dado que el ojo humano solo es capaz de detectar radiaciones en un cierto rango de longitudes de onda determinado, resulta crucial establecer estos límites, ya que, además, también depende de este hecho la interpretación de los diferentes colores de la paleta cromática (Colorado et al., 2007).

Pese a la incapacidad humana para visualizar longitudes de ondas que no estén comprendidas entre los 400-700 nanómetros, el espectro electromagnético medible abarca desde las ondas de radio (con mucha longitud de onda y poca energía) hasta los rayos gamma (con poca longitud de onda y mucha energía) (Figura 1). Del mismo modo, el espectro de luz visible puede variar de unos humanos a otros desde los 780 hasta los 380 nanómetros, pues dentro de estos parámetros se incluyen todas las tonalidades de colores (Figura 2) (Colorado et al., 2007).

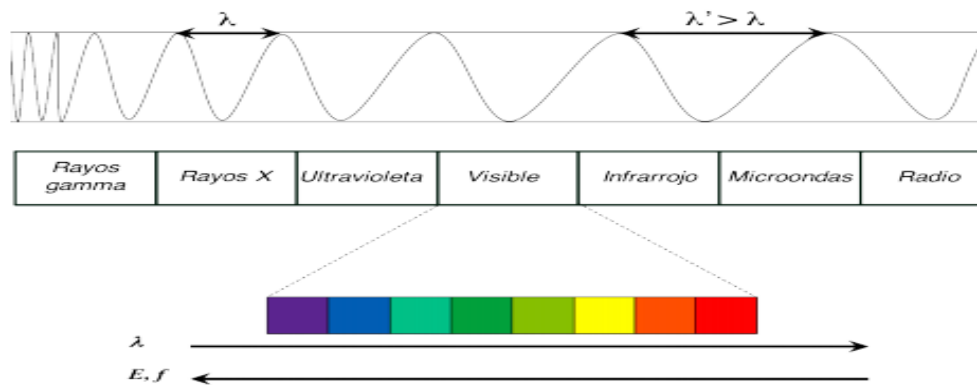


Figura 1: Representación del espectro electromagnético (distribución del conjunto de ondas electromagnéticas) en relación con los parámetros de frecuencia (f), energía y longitud de onda (Serrano, 2019).

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

Figura 2: zona visible del espectro electromagnético (Serrano, 2019).

2.2. La percepción del color por descomposición, absorción y emisión lumínica

El siguiente paso para examinar sería el color, aceptado como una percepción de la visión que procede de la interacción entre luz y materia, siendo capaz esta última de descomponer, absorber o emitir luz radiante. Así, la percepción de un color por descomposición se refiere a la dispersión, interferencia o difracción que un fotón sufre al entrar en contacto con una superficie y cuya radiación resultante se percibe por el ojo humano. La capacidad de absorción también influye en la percepción final del color, ya que, ciertas superficies, dada su composición, absorben la mayoría de las longitudes de ondas que perciben, dejando pasar solo las correspondientes al color que percibimos de dicho objeto. Por último, la emisión de luz se refiere a que ciertos materiales son capaces de liberar un fotón de su estructura química, con una longitud de onda característica del

objeto en cuestión, haciéndonos percibirlo del color asociado a esta longitud de onda (Colorado et al., 2007).

2.3. Fisiología de la visión humana

Otro aspecto por analizar es la fisiología de la visión humana, incluyéndose en ella los procesos de absorción de fotones, la excitación de las células fotosensibles, la isomerización cis y trans del 11-cis-retinal, la producción de un estímulo nervioso y la conducción y procesamiento de dicha señal en nuestro sistema nervioso central para originar la percepción visual. Este proceso se inicia cuando los fotones de luz inciden en el ojo provocando la excitación y fotoisomerización de los complejos 11-cis-retinal unidos a las proteínas de opsina, desencadenando la fotoactivación de los receptores acoplados a proteínas G (GPCR) visuales y dando lugar a una serie de reacciones enzimáticas conocidas como fototransducción. En principio, las rutas de fototransducción tanto de conos como de bastones son similares, ya que involucran productos genéticos homólogos con funciones similares que solo difieren en ciertas propiedades como la fotosensibilidad de los pigmentos visuales y su regeneración, cinética y regulación de las reacciones que inician (Hofmann y Palczewski, 2015).

2.4. Pigmentos y colorantes

El último punto por revisar en este Trabajo Fin de Grado son los colorantes, es decir, sustancias naturales (extraídas de plantas, animales o minerales) o sintéticas (productos modificados mediante tratamientos químicos o físicos) empleadas para dar color al mundo que nos rodea a través de los pigmentos que contienen, los cuales realizan una absorción característica y selectiva de la radiación incidente. Para diferenciar las tinturas con respecto a los colorantes y pigmentos, las definimos como colorantes que en solución se unen a los estratos más profundos de la materia (Ibáñez, 2013).

Dentro de los colorantes naturales encontramos los que son solubles en agua (hidrosolubles), los solubles en grasa (liposolubles) y los minerales. Los colorantes sintéticos se dividen en azoicos y no azoicos, según la presencia o no de un grupo azo (-N=N-) conjugado con anillos aromáticos por ambos extremos. Estos últimos son más utilizados debido a que todos son hidrosolubles, resistentes a tratamientos industriales

y, generalmente, más económicos y duraderos. Una de las aplicaciones de los colorantes es la industria alimentaria, donde los hay de cada una de las categorías anteriores (Figura 3). Entre los colorantes naturales hidrosolubles cabe destacar la cochinilla o color rojo carmín, procedente de las hembras fecundadas de la cochinilla del nopal. Entre los colorantes naturales liposolubles destacamos los carotenoides, de color naranja-amarillento, obtenidos de extractos vegetales y conocidos como antioxidantes y precursores de la vitamina A. Dentro de los colorantes minerales podemos destacar el dióxido de titanio obtenido del hierro ilmenita, responsable del color blanco. Como colorante sintético azoico destaca la tartrazina, responsable del color amarillo limón y empleado en refrescos y como sustitutivo del azafrán. En el grupo de los colorantes sintéticos no azoicos mencionaremos el azul brillante FCF, responsable del color azul (Sánchez, 2013).

COLORANTES NATURALES HIDROSOLUBLES	
Curcumina (E100)	Riboflavina, lactoflavina o B2 (E101)
Cochinilla o ácido carmínico (E120)	Caramelo (E150)
Betanina o rojo de remolacha (E162)	Antocianos (E163)
COLORANTES NATURALES LIPOSOLUBLES	
Clorofilas (E140 y 141)	Carotenoides (E160)
Xantofilas (E161)	
MINERALES	
Carbón vegetal (E153)	Carbonato cálcico (E170)
Dióxido de titanio (E171)	Óxidos e hidróxidos de hierro (E172)
Aluminio (E173)	Plata (E174)
Oro (E175)	

COLORANTES SINTÉTICOS AZOICOS	
Tartrazina (E102)	Rojo allura AC (E129)
Amarillo anaranjado S o amarillo sol FCF (E110)	Negro brillante BN (E151)
Azorrubina, carmoisina (E122)	Marrón FK (E154)*
Amaranto (E123)	Marrón HT (E155)*
Rojo cochinilla A o rojo Ponceau 4R (E124)	Litol Rubina BK (E180)**
Rojo 2G (E128)*	
COLORANTES SINTÉTICOS NO AZOICOS	
Amarillo de quinoleína (E104)	Indigotina o carmín de índigo (E132)
Eritrosina (E127)	Azul brillante FCF (E133)
Azul patentado V (E131)	Verde ácido brillante BS (E142)

Figura 3: ejemplos de colorantes autorizados en la industria alimentaria (Sánchez, 2013).

3. OBJETIVOS DE LA REVISIÓN

El objetivo de esta revisión es conocer e identificar las características del color, sus mecanismos fisiológicos de percepción y acerca de agentes naturales o sintéticos generadores de color. En la realización de esta revisión se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Obtener información sobre el color que se genera a través del fenómeno de la luz y de su percepción visual.
- Realizar una búsqueda bibliográfica de compuestos químicos naturales y artificiales responsables del color.

4. METODOLOGÍA

La búsqueda de documentos para llevar a cabo la revisión bibliográfica se realizó en diferentes etapas y mediante buscadores tales como Pubmed, Google académico, Sciencedirect y Dialnet. La primera búsqueda se hizo usando los términos “color” y “química del color” o sus equivalentes en inglés (“color” y “color chemistry”). En aquellos motores que fuese posible, se especificó como criterio de búsqueda que los

términos aparecieran en el título o en el resumen/*abstract* y se restringieron los resultados desde 2015 a 2020.

Inicialmente, se revisaron y seleccionaron trabajos científicos que desarrollaran los conceptos de interés o que incluyeran nuevos tópicos que estuvieran conceptualmente vinculados. Esto último permitió ampliar los términos de búsqueda para la revisión. Entre los nuevos términos pueden destacarse: radiación y color, luz visible, percepción del color, visión del color, fisiología del color, deficiencias en la visión del color, retina, conos y bastones, pigmentos, colorantes, entre otros.

Con estos nuevos criterios se inició una segunda revisión bibliográfica. Después de seleccionar los documentos científicos de acuerdo a la información de los resúmenes, se obtuvo un segundo conjunto de documentos (artículos científicos, tesis, entre otros) que se procedió a revisar con detalle para su selección e incorporación definitiva en la presente revisión. En algunos casos a través de las mismas referencias de los documentos seleccionados se identificaron nuevos materiales de consulta, valiosos por ser fuente primaria o por ser más útiles para entender los conceptos fundamentales relacionados con la temática. Esto condujo a fuentes con fechas de publicación anterior al 2015.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. La naturaleza de la luz en nuestro entorno

La luz se define como el fragmento de radiación electromagnética que el ojo humano es capaz de percibir (luz visible). Este espectro de luz se segmenta gradualmente dando lugar a colores con una longitud de onda o frecuencia determinada (espectro continuo). Los colores que lo constituyen son los tradicionalmente conocidos como rojo, naranja, amarillo, verde, magenta, cian, azul y violeta (Magaña, 2018).

Actualmente, se sabe que la luz se compone de partículas sin masa (fotones), que se expresan de dos formas, como partícula y como onda electromagnética. Observada como partícula, la luz es un flujo de fotones cuyo desempeño en fenómenos a nivel microscópico se efectúan en la interacción luz y materia, por ejemplo, en el efecto que produce el color azul del cielo. Ibarra-Villalón (2017) indica que la luz que percibimos

tiene cierta frecuencia de oscilación, definiendo a esta frecuencia como el número de oscilaciones que se producen en un segundo, estas frecuencias estarán en la región visible del espectro electromagnético. Por lo que cada color de luz oscilará en un rango de frecuencias. Y que, en algunos casos, se menciona un color en base a su longitud de onda, que se define como el trayecto que hay entre dos puntos máximos consecutivos de una oscilación (Ibarra-Villalón, 2017). De este modo, las radiaciones del espectro visible que se aproximen a determinados valores tendrán un color específico que el ser humano es capaz de identificar. Estas radiaciones se desplazan en un rango que oscila entre los 400 y 720 nanómetros, violeta y rojo, respectivamente (Mesa, 2019).

La luz se conforma de los saltos que los electrones realizan entre orbitales atómicos. En este caso, los electrones se desplazan por orbitales definidos sin gastar energía, pero cuando descienden a un orbital inferior (menor energía y más próximo al núcleo) se produce una emisión de energía en forma de radiación (Figura 4) (Mesa, 2019).

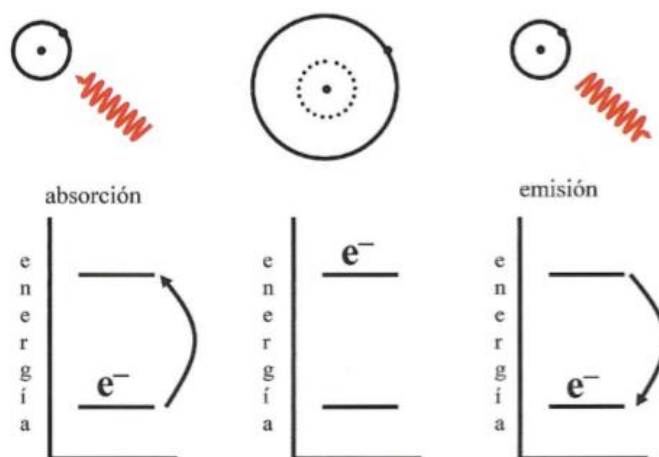


Figura 4: un electrón puede absorber luz visible y pasar a un estado de mayor energía o puede emitir luz y pasar a un estado de menor energía (Colorado et al., 2007).

Mesa (2019) indica que algunos de esos saltos producen radiación visible que llamamos luz, radiación que ven nuestros ojos en su manifestación de color. La luz está compuesta por los electrones que se desprenden y se transforman en energía de los átomos y las radiaciones dependen de la energía y la frecuencia con que son emitidos esas partículas. Otro punto por destacar es el del efecto cromático en la relación estímulo-receptor en el que es indispensable entender que los estímulos que ocasionan el color se sostienen por medio de dos vías bien definidas. Una se fundamenta en la radiación luminosa

denominada color-luz y la otra en la sustancia material, denominada como color-pigmento, que recibe, refracta, absorbe y refleja la luz para el observador. Se puede decir que la luz tiene la capacidad de mostrar los pigmentos de los objetos que nos rodean (Güiza et al., 2016).

5.2. Descomposición, emisión y absorción de la luz

Isaac Newton (1666) descubrió un fenómeno que consistía en que cuando un haz de luz atravesaba un prisma de cristal, éste se fraccionaba en un espectro cromático equivalente al del arco iris (Güiza et al., 2016). Esto se debe a que se dividen las diferentes longitudes de onda que conforman el rayo incidente producto de la dispersión (Álvarez, 2009). Esta descomposición se constituye de luces monocromáticas denominadas colores luz no descomponibles (rojo, verde y azul-violeta) que son colores primarios que al combinarse configuran el espectro visible (Soldevilla, 2014).

La luz que impacta sobre un objeto es reflejada, absorbida o transmitida por la superficie. La que es transmitida atraviesa la superficie y el objeto se observa transparente sin emisión cromática visible (Benito, 2019). Dentro de las sustancias transparentes la luz va a menor velocidad que en el vacío y una parte de ella siempre es absorbida debido a su interacción con los electrones de la materia (Mesa, 2019).

Los cuerpos son percibidos con el color de la luz que no se absorbe. En un objeto que se distingue de color verde, se considera que la reflexión es de color verde y que absorbe el resto de las sensaciones cromáticas (Figura 5) (Álvarez, 2009). Las sustancias y los cuerpos en sí mismos no tienen color, lo que tienen es cierta capacidad de absorber, refractar y reflejar determinados rayos luminosos, que inciden sobre ellos (Güiza et al., 2016).

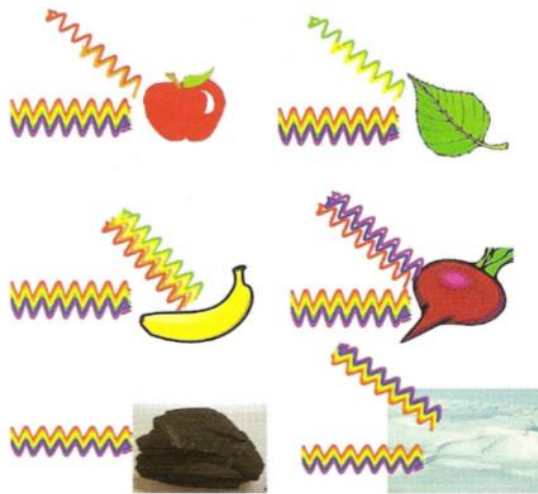


Figura 5: las cosas son del color que no absorben. El negro absorbe todos los colores y el blanco los refleja (Colorado et al., 2007).

5.3. El color

Güiza et al. (2016) indican que la sensación del color se da mediante interacción del color-luz bajo el color pigmento, decodificado y reflejado a nuestros ojos. Por tanto, hay que diferenciar dos aspectos importantes en el color: el color luz y el color pigmento (Stivala et al., 2014).

En primer lugar, el color luz, o también denominado color aditivo, se basa en una síntesis aditiva que añade luces hasta llegar a la luz blanca. Ésta se descompone en luces monocromáticas (color luz) que son el rojo, el verde y el azul (colores primarios aditivos), que al combinarse forman todos los colores del espectro visible (Güiza et al., 2016). En el color aditivo, la adición de más colores adquiere más luz, por tanto, más luminosidad (Stivala et al., 2014).

Los tres colores primarios aditivos pertenecen a distintas radiaciones de longitud de onda que cuando se mezclan, forman colores diferentes (Figura 6). Por ejemplo, el rojo más el verde originan el amarillo (Álvarez, 2009).

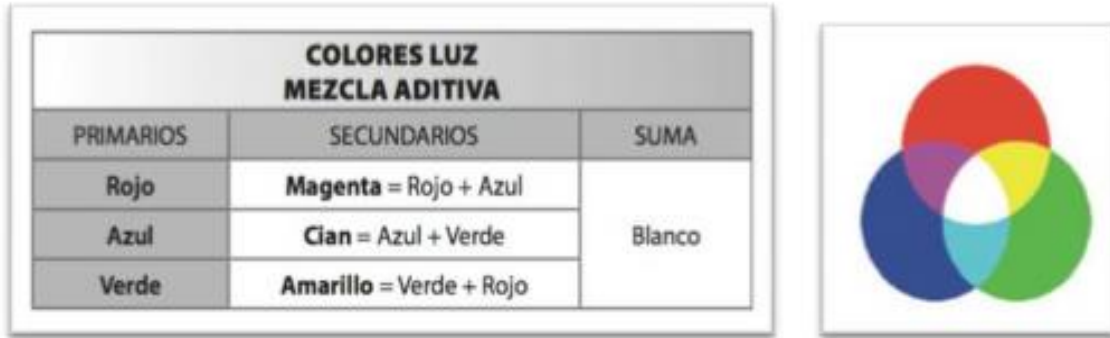


Figura 6: color-luz primarios: rojo, verde y azul-violeta. La mezcla de esos colores primarios obedece al sistema aditivo de luz y tiene como resultado el blanco (Soldevilla, 2014).

En segundo lugar, el color pigmento, o también llamado color sustractivo, se fundamenta en la síntesis sustractiva que absorbe la luz de los colores primarios aditivos y que las longitudes de onda reflejadas son las que originan esta sensación de color (Álvarez, 2009).

Soldevilla (2014) expone que, debido a la capacidad de absorción de tres filtros juntos, se puede obtener la diversidad del espacio de colores. Este fenómeno se produce al ocupar pigmentos donde el color final de una zona va a depender de las longitudes de onda de la luz incidente reflejadas por los pigmentos de color de la misma. Es decir, la producción de colores por sustracción se da siempre que a una energía de radiación existente se le sustrae algo de su absorción. Los colores pigmentos o sustractivos son los colores basados en la luz reflejada de los pigmentos aplicados a las superficies.

Los colores sustractivos tienen la propiedad de restar, por tanto, cuantos más colores se adhieran a una superficie, más se oscurecerán (Stivala et al., 2014). Los colores primarios sustractivos son el magenta, el cian y el amarillo (Figura 7). La mezcla de estos colores en proporciones iguales da lugar al negro, que es la ausencia de color (Benito, 2019).



Figura 7: colores-pigmento translucidos primarios: magenta, amarillo y cian. Se observa que al revés de los colores-luz, los colores pigmento opacos y translúcidos son regidos por el sistema de resta de luz. Como resultado, la mezcla de los colores primarios resulta en gris neutro o negro (Soldevilla, 2014).

5.4. La percepción del color

La percepción del color se explica como la fuente de luz emitida que puede dirigirse al ojo de forma directa o atravesar un objeto, identificada por el cerebro como un color determinado. Se interpretan las señales nerviosas que mandan los fotorreceptores de la retina que, además, distinguen las longitudes de onda de la luz visible. El riesgo que puede generar es la falta de determinación en la comunicación del color que se percibe (Güiza et al., 2016). No obstante, si el color blanco es el percibido se debe a que se refleja la luz por la superficie, mientras que si es negro se debe a que se absorbe totalmente. En el caso de la percepción del rojo, se absorben las longitudes de onda del color verde y azul y se reflejan las pertenecientes al rojo (Montoya et al., 2017).

Los colores dependen de los objetos, al mismo tiempo que de la luz que los ilumina y del observador. Al haber alguna variación en uno de ellos, se modificará su percepción (Montoya et al., 2017). Por eso la importancia de recurrir a métodos auxiliares para objetivar la percepción del color, que en ocasiones puede desvirtuarse por alteraciones biológicas del observador, por errores de percepción del mismo (a causa del iluminante o del ambiente) o por ambigüedad de absorción (por parte del objeto) (Montoya et al., 2017).

En la siguiente sección se describirán los factores relacionados con la percepción del color que dependen del observador, la discriminación de colores depende en gran

medida de cerca de los 7 millones de conos que se localizan en la retina del ojo humano, la mayoría de estos ubicados en la zona foveal. En una retina libre de patologías concurren tres tipos de conos: 1) los que son sensibles al color rojo llamados comúnmente conos de onda larga, éstos experimentan su mayor punto de sensibilidad a los 560 nm 2) aquellos sensibles a los matices verde-amarillo, los conos de onda media cuyo punto de sensibilidad máxima se manifiesta a aproximadamente a 530 nm y 3) los que son sensibles a tonalidades azul-violeta, es decir, los conos de onda corta que tienen su punto de captación alrededor de 420 nm (Fanlo et al., 2019).

5.5. La fisiología de la visión y el color

El ojo humano tiene la capacidad de percibir luces, colores y formas de todo lo que está a nuestro alrededor. Esto se sostiene por medio de las células fotorreceptoras de la retina denominadas conos y bastones (Figura 8) (Lafuente, 2008). Conos y bastones transforman la energía electromagnética visible en impulsos nerviosos (transducción) que acaban influyendo en la actividad cerebral tras haber sido procesados en la propia retina (Collado, 2015).

La capacidad visual se fundamenta en un sistema de recepción, transducción y codificación de la energía. La actividad visual comienza recibiendo estimulación visible y finaliza en el cerebro con procesos cognitivos de nivel superior (Collado, 2015).

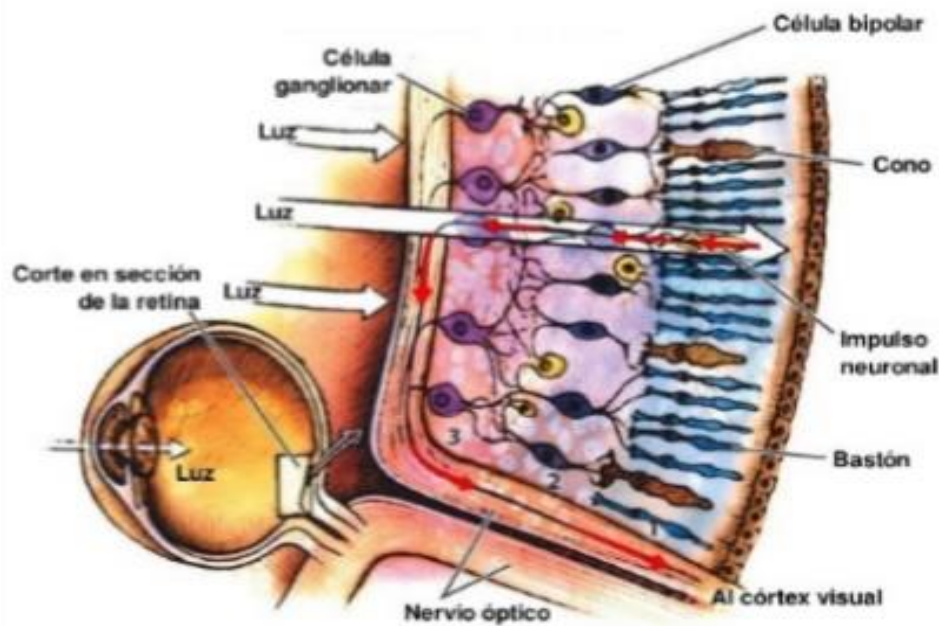


Figura 8: sección del ojo humano: principales estructuras del ojo y aumento de la retina (Collado, 2015).

Por una parte, la información que el ojo recibe del exterior es el brillo y la longitud de onda. El brillo se refiere a la cantidad de luz que llega al objeto, mientras que la longitud de onda se refiere a la transmisión como color. Cuando se percibe el color amarillo y no se ha detectado la longitud de onda asociada a este color, se interpreta una mezcla de colores como si fuera un solo color (Álvarez, 2009).

Por otra parte, los conos y bastones tienen la capacidad de registrar la luz emitida y de permitir la visión dentro del rango de luz visible. Los conos son sensibles a tres longitudes de ondas que corresponden a los colores verde, rojo y azul (Benito, 2019). En cuanto a los conos, estos permiten que se dé la visión cromática cuando la estimulación es de intensidad relativamente alta (visión fotópica), mientras que la visión en blanco y negro en condiciones de baja luminosidad (escotópica) depende de los bastones (Collado, 2015). Además, tienen una relación de 1 a 1 con las fibras nerviosas, para cada cono existe una fibra nerviosa; esto permite que el operador pueda distinguir con mucha exactitud las zonas donde empieza un color y termina el anterior (Lafuente, 2008). En el centro focal retiniano, se encuentra la mayoría de los conos (alrededor de los 6 millones)

y, por este motivo, a veces se observa un objeto con la parte lateral del ojo, pero no podemos saber específicamente su color (Lafuente, 2008).

La visión tiene variaciones en todos los animales de nuestro entorno. Se cataloga de la siguiente manera: monocromática (mapaches y salamandras), dicromática (mayoría de los animales), tricromática (primates y seres humanos) y tetracromática (aves, reptiles y peces). Sin embargo, algunos animales son capaces de percibir las longitudes de onda que exceden un poco de la radiación visible electromagnética percibida por los seres humanos. Por ejemplo, este es el caso de las abejas que presentan una capacidad sensitiva a la radiación ultravioleta, que el ojo humano no es capaz de ver (Perales et al., 2018).

La visión tricromática en el ser humano se debe a que existen tres tipos de conos con una capacidad sensitiva al verde, azul y rojo. De hecho, la incidencia lumínica en la retina estimula a un tipo de cono determinado (Perales et al., 2018). En cuanto a los bastones, al no distinguir entre las distintas longitudes de onda de la luz que se percibe, la evidencia de los colores es mucho menor en la oscuridad (Perales et al., 2018).

La macula lútea se recubre de un pigmento amarillento ligeramente mayor a la fóvea, de un diámetro aproximado a 5mm. Esta zona es muy eficiente para la visión de detalles, parece ser que también puede tener una función de absorción de rayos ultravioleta para proteger la zona de fototraumatismos y también reducir la aberración cromática y la dispersión de la luz aumentando el rendimiento visual (Collado, 2015).

El último punto de estudio es la fototransducción (Figura 9), cuyo proceso se basa en tomar una señal de radiación visible y transformarla en una respuesta fisiológica. Esta radiación se percibe en el ojo por la rodopsina, una proteína que se ubica en la membrana de los bastones. Esta proteína se compone de la opsina (proteína) y del 11-cis-retinal (pigmento de la vitamina A) y absorbe la luz al incitar un cambio estructural en la forma proteica de la rodopsina, cambiando a trans-retinal. Esto produce una gran cantidad de señales fisiológicas en las que participan varias proteínas (Perales et al., 2018). De este modo, la rodopsina (ya modificada) interactúa con la proteína transducina (forma parte de las denominadas proteínas G) y se activan al unirse al guanosín trifosfato (GTP). Luego, la subunidad α GTP de la transducina interactúa con la

fosfodiesterasa, una proteína que modifica a la molécula derivada del GTP, conocida como guanosín monofosfato cíclico (GMPc) (Perales et al., 2018). Esto da lugar a la forma no cíclica guanosín monofosfato (GMP), que activa indirectamente la formación de GTP para fomentar una corriente de señales fisiológicas. De esta manera, en términos de oscuridad o baja iluminación, se produce la activación de la proteína guanilato ciclasa y se transforma el GMP en GMPc (Perales et al., 2018).

Cuando se produce la unión del GMPc a proteínas localizadas en la membrana de las células fotorreceptoras, los canales iónicos dependientes de nucleótidos cíclicos dejan pasar iones de cargas positivas (calcio o sodio) al interior de las células. De este modo, el flujo de iones favorece la amplificación de estas señales a través de la activación de otras proteínas (Perales et al., 2018).

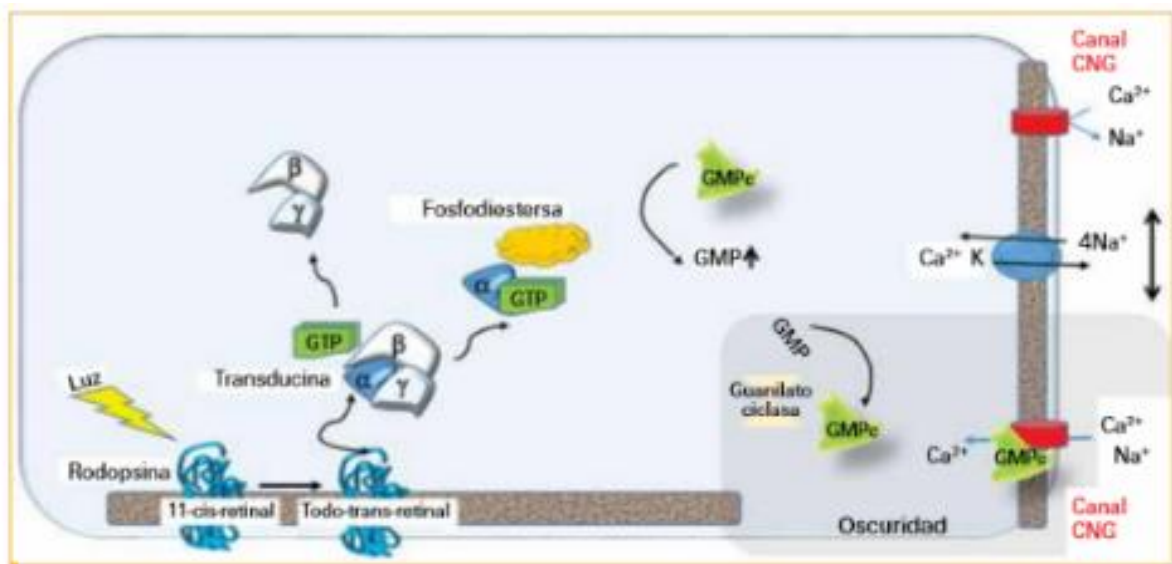


Figura 9: en el proceso de fototransducción la información captada por las células fotorreceptoras se convierte en una señal eléctrica que luego es enviada al cerebro, donde se procesa la imagen (Perales et al., 2018).

La afectación de algunos de los mecanismos fisiológicos descritos anteriormente puede conducir al padecimiento de deficiencias en la visión del color (DVC), que básicamente consisten en una disminución de la habilidad para distinguir tonalidades bajo ciertas condiciones, esto eventualmente podría acarrear limitaciones en diferentes facetas de la vida cotidiana, académica o laboral. La adaptación de un individuo a su entorno,

especialmente en la etapa escolar, dependerá de la gravedad de su deficiencia visual (Fanlo et al., 2019).

Las DVC de naturaleza congénita tienen una prevalencia de 0,5% en las mujeres y en los hombres puede alcanzar hasta un 8%. Aunque las DVC también pueden ser adquiridas, en estos casos su origen es menos predecible y puede depender de la exposición a factores de riesgo muy diversos. La clasificación de las DVC se establece de acuerdo al cono cuyo funcionamiento se vea afectado y la gravedad de la deficiencia: 1) La ausencia de la visión del rojo es conocida como *protanopia*, mientras que el déficit, *protanomalia*, 2) la ausencia de la visión del color verde se denomina *deuteranopia*, más su déficit deuteranomalia y 3) la ausencia de la visión del azul se designa como tritanopia, pero el déficit tritanomalia (Fanlo et al., 2019).

5.6. Los pigmentos: generadores naturales de colores

5.6.1. Los pigmentos naturales

Los colores primarios que se le atribuyen a los vegetales se deben a unos compuestos químicos denominados pigmentos. El color específico que un vegetal puede presentar depende del predominio de un pigmento u otro o la combinación de ambos. En cambio, cuando presenta un color blanco se debe a la ausencia de pigmentos (Mancilla et al., 2009). García et al. (2011) define pigmentos como moléculas que, por su estructura química, absorben luz de una determinada longitud de onda y reflejan el resto, que define el color que nosotros percibimos. La parte de la molécula responsable del color se denomina cromóforo, suele contener una cadena de dobles enlaces conjugados que debido a la interacción con los dobles enlaces generan un sistema resonante con estados electrónicos cuya separación energética coincide con la energía de ciertos fotones del rango visible de la luz, siendo estos los fotones que absorbe el pigmento (Figura 10).

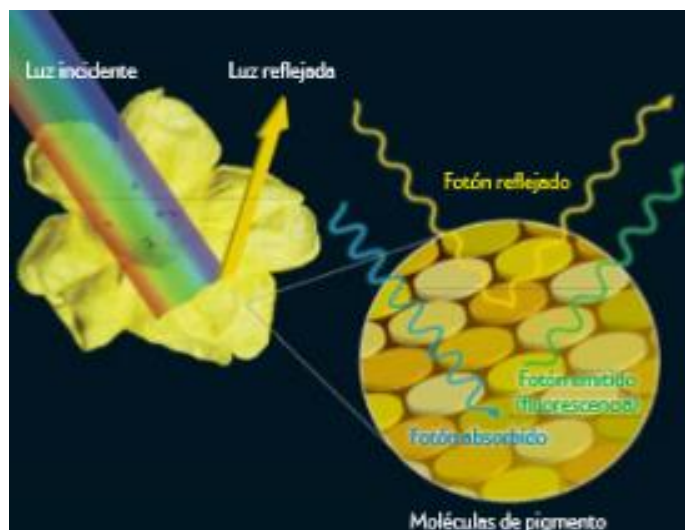


Figura 10: el color de las flores (García et al., 2011).

En la naturaleza, en especial frutas y vegetales, el color se debe a principalmente a tres agrupaciones de pigmentos: clorofilas, carotenoides y antocianinas, que son los responsables de los colores verde, rojo-amarillo y azul-violeta respectivamente. Además, se establece una relación entre la acumulación de estos pigmentos en los tejidos y la protección de los mismos contra el daño generativo (Mínguez et al., 2005).

Los vegetales presentan color verde debido a un pigmento denominado clorofila que se encuentra en algas, musgos, helechos y todas las plantas que contengan semilla. En los cloroplastos, donde están las clorofilas, hay también dos pigmentos de color amarillo y amarillo-anaranjado, denominados xantofilas y carotenos, respectivamente (Mancilla et al., 2009).

5.6.2. Carotenoides

Los carotenoides están presentes en vegetales (tanto fotosintéticos como no fotosintéticos), bacterias, algas, hongos y animales. Son los responsables del color amarillo, naranja y rojo de la mayoría de los frutos. En el caso de los animales, no se pueden sintetizar y se incluyen a través de la alimentación (Mínguez et al., 2005).

Se clasifican en dos grupos, los carotenos y las xantofilas (Mínguez et al., 2005). Estos pigmentos tienen propiedades antioxidantes, es decir, detienen la acción de moléculas, como los radicales libres que son dañinas para la célula y pueden formar células cancerosas y daños en el material genético (Báez, 2007).

Los carotenoides pueden presentar una estructura acíclica como es el caso del licopeno, o tener distintas estructuras cíclicas de cinco o seis carbonos en uno o ambos extremos, como es el caso del β -caroteno (Mínguez et al., 2005).

Dentro del grupo de los carotenoides, el betacaroteno es el pigmento que aporta el color amarillo-anaranjado en frutas y vegetales. Además, también tiene beneficios en la salud, debido a sus propiedades antioxidantes, pudiendo prevenir enfermedades, además de ser precursor de la vitamina A, esencial en el proceso de la visión, y favorece el desarrollo de huesos y dientes (Hernández et al., 2010).

Las xantofilas son los pigmentos responsables de los colores rojo, naranja y amarillo. Dentro del grupo de las xantofilas se puede destacar la astaxantina. Este pigmento es el responsable del color rojizo que caracteriza al salmón y es de los antioxidantes naturales más potentes de la naturaleza. Los salmones, como cualquier otro animal, no puede producir este tipo de pigmentos. Por esta razón, los salmones que provienen de criaderos, sin la astaxantina en su alimentación, presentan la carne blanca. En cambio, los salmones salvajes tienen esta coloración rojiza por los crustáceos que forman parte de la cadena alimenticia. Estos crustáceos se alimentan de algas que si pueden producir la astaxantina (Báez, 2007).

5.6.3. Flavonoides

Entre los pigmentos naturales más importantes se encuentran las antocianinas o antocianidinas, que pertenecen al grupo de los flavonoides. Son los responsables de una amplia gama de colores que abarcan desde el rojo hasta el azul de muchas frutas, vegetales y cereales. Una de las funciones de estos pigmentos es proteger a las plantas, sus flores y sus frutas de la luz ultravioleta (Figura 11) (Marín y Mejía, 2012). En el caso de las mieles, su color es debido a la concentración de flavonoides, siendo las mieles más oscuras las que mayor concentración tienen (Ciappini et al., 2013).



Figura 11: hoja de *Dionaea muscipula*, planta carnívora (Manuel et al., 2011).

Las antocianinas representan los principales pigmentos solubles en agua visibles al ojo humano (Aguilera et al., 2011). Son unos pigmentos hidrosolubles que se localizan en las vacuolas de la célula y presentan diversas funciones como son la de proteger a la planta de virus y microbios, atraer polinizadores, proporcionar sensaciones cromáticas y ser claves en la obtención de productos para el consumo humano (Astrid, 2008). El color de las antocianinas depende del número y orientación de los grupos hidroxilo y metoxilo de la molécula. Incrementos en la hidroxilación producen desplazamientos hacia tonalidades azules mientras que incrementos en las metoxilaciones producen coloraciones rojas (Marina, 2014).

5.6.4. Clorofila

La clorofila es el pigmento responsable del color verde en los vegetales que se encarga de absorber la luz necesaria para la fotosíntesis (síntesis de sustancias orgánicas a partir de las inorgánicas, mediante la transformación de la energía luminosa en energía química). La abundancia de este pigmento en hojas y tejidos vegetales es la razón de que las plantas sean verdes, en cambio, en algunas hojas, la clorofila se oculta por otros pigmentos. Es frecuente que otros pigmentos como la ficobilina oculte la clorofila y sean responsables del color azulado o rojizo. La función de la ficobilina es la captación de la luz y transmitirla a la clorofila (Mancilla et al., 2009).

5.6.5. Betalaínas

Las betalaínas son los pigmentos responsables de los colores violeta y amarillo que se manifiestan en flores, frutas, algunos hongos (*Amanita* e *Hygrocybe*) y, en ocasiones, en

vegetales de la familia de las *Cariofilales*. Estos pigmentos vegetales se clasifican en betacianinas que son de color violeta (absorben la radiación verde) y las betaxantinas que son de color amarillo (absorben la radiación azul) (Figura 12) (García et al., 2011).



Figura 12: las betalaínas que contiene la remolacha roja (*Beta vulgaris*) se utilizan a modo de colorantes en la industria alimentaria (García et al., 2011).

Las betacianinas y las betaxantinas coinciden en que tienen la misma unidad básica estructural y funcional que se denomina ácido betalámico. En las betacianinas se conjugan con la ciclo-DOPA (ciclo-dihidroxifenilalanina) y, en las betaxantinas, se condensan con un aminoácido o una amina. El sistema de dobles enlaces que se conjugan de este ácido son los causantes del color de estos pigmentos (García et al., 2011). En la actualidad, se ha incrementado el interés en las betalaínas como colorantes alimentarios, así son los pigmentos naturales más utilizado por la industria para reemplazar el Rojo 40. Tienen una multitud de aplicaciones en las que se incluyen dar color rojo a productos como son los dulces, helados, sustitutos de la carne y bebidas (González de Mejía et al., 2020).

5.7. Los colorantes

El concepto de colorantes se suele confundir con el de pigmentos, que son compuestos químicos que proporcionan color y necesitan combinarse con agentes adhesivos antes de fijarse a una superficie. Un colorante se puede definir como un pigmento o sustancia que cuando se añade o se aplica a un alimento, fármaco o cosmético, o para el cuerpo humano, es capaz (solo o por medio de reacciones con otras sustancias) de impartir

color. Son sustancias de origen natural o artificial que se usan para aumentar o dar color a los alimentos, telas, tintas y otros (Marín y Mejía, 2012). Tampoco se debe confundir con una tintura, el cual constituye un pigmento o colorante químico, disuelto en un vehículo (agua, alcohol, o aceites), empleado para colorear vidrio, papel, tejidos o maderas (Marín y Mejía, 2012).

En cuanto a la identificación de los colorantes, se les identifica con la letra E seguida de un número, que en el caso de los colorantes corresponde a los números entre 100 y 199. Son regulados respecto del tipo de alimentos al que pueden ser adicionados, en qué condiciones y las restricciones de venta de cada uno (Carmona, 2013).

Los colorantes se clasifican en dos grupos según su origen, en naturales y sintéticos o artificiales (Figura 13). A los colorantes naturales se les aplica un tratamiento químico para conferirles estabilidad y uniformidad (Marín y Mejía, 2012).

Colorantes naturales hidrosolubles				Colorantes sintéticos azoicos			
Curcumina	E-100	Riboflavina, lactoflavina o B2	E-101	Tartrazina	E-102	Rojo allura AC	E-129
Cochinilla o ácido carmínico	E-120	Caramelo	E-150	Amarillo anaranjado S o amarillo sol FCF	E-110	Negro brillante BN	E-151
Betanina o rojo remolacha	E-162	Antocianos	E-163	Azorrubina	E-122	Marrón FK	E-154
Colorantes naturales liposolubles				Amaranto	E-123	Marrón HT	E-155
Clorofilas	E-140 y E-141	Carotenoides	E-160	Rojo cochinilla A o rojo Ponceau 4R	E-124	Litol rubina BK	E-180
Xantofilas	E-161			Rojo 2G	E-128		
Minerales				Colorantes sintéticos no azoicos			
Carbón vegetal	E-153	Carbonato cálcico	E-170	Amarillo de quinoleína	E-104	Indigotina o carmín de índigo	E-132
Dióxido de titanio	E-171	Óxidos e hidróxidos de hierro	E-172	Eritrosina	E-127	Azul brillante FCF	E-133
Aluminio	E-173	Plata	E-174	Azul patentado V	E-131	Verde ácido brillante BS	E-142
Oro	E-175						

Figura 13: ejemplos de colorantes (Arias et al., 2018).

Hay un reciente interés por los colorantes naturales debido a su inocuidad, especialmente en el caso de alimentos, preparaciones farmacéuticas y cosméticas, que se destinan al consumo humano (Sigurdson et al., 2017).

Inicialmente, los colorantes naturales eran derivados de fuentes animales, vegetales o minerales sin procesamiento químico, en la actualidad es cada vez más común que sean sometidos a extracción y purificación (Oplatowska-Stachowiak y Elliott, 2017).

En comparación con los colorantes sintéticos, los colorantes naturales tienen ciertas limitaciones desde el punto de vista económico. Entre las desventajas de los colorantes naturales están su coste más alto, una importante variabilidad entre los lotes de producción, debido principalmente a su dependencia de la calidad del material biológico que sirve como fuente de origen, además pueden impartir sabor y olor al producto, tener una menor capacidad de tinción y pueden ser más sensibles a cambios en el color por factores tales como el pH, calor y luz (Sigurdson et al., 2017).

A pesar de estas desventajas, el cambio en el hábito de consumo hacia derivados naturales comienza a tener mayor peso, lo que progresivamente ha impulsado mejoras en la selección de las fuentes de origen, cambios en los procesos de extracción o redirigir su uso, por ejemplo, la presencia de olor o sabor puede justificar que un colorante natural sea aprovechado también como condimento en determinados alimentos (Oplatowska-Stachowiak y Elliott, 2017).

5.7.1. Colorantes minerales

Históricamente, los minerales se han utilizado como colorantes en alimentación, cosmética y arte. Se definen como compuestos químicos cristalinos y desarrollados por procesos geológicos. Proporcionan una variedad de tonos que dependen de su composición y estructura física. Presentan cationes metálicos que contienen electrones de orbitales de que, con frecuencia, absorben y reflejan radiación visible. Un ejemplo es un mineral de óxido de cromo denominado viridian, se trata de un pigmento de color verde que se ha usado en pintura y en cosmética como colorante (Sigurdson et al., 2017).

5.7.2. Colorantes sintéticos

Algunos de los colorantes sintéticos que más se usan en la industria alimentaria son:

- El colorante Rojo 2G (E128) es normalmente usado en productos de carne y embutidos (Belmonte et al., 2016).
- El colorante azul brillante FCF (E-133) se utiliza para teñir productos alimenticios, bebidas refrescantes, golosinas azules, entre otros (AEPAP, 2017).
- El colorante verde rápido FCF (E143) se presenta esencialmente como polvo o cristales de color verde y se ve sujeto a cambios en el pH, luz directa y temperatura. Se utiliza con frecuencia en lácteos, postres con ingredientes grasos, mermeladas, dulces, entre otros (Belmonte et al., 2016).
- El colorante tartrazina (E-102) se emplea como polvo con brillo de coloración amarillo-anaranjado. En ambientes alcalinos manifiesta un color rojizo. Se encuentra en bebidas, dulces, galletas, entre otros (Restrepo, 2007).
- El colorante rosa de bengala o rojo 105 se emplea, principalmente, en forma de tinte para mejorar el contraste en microscopía (Belmonte et al., 2016).
- El colorante negro brillante BN (E151) se emplea principalmente para ennegrecer algunas mermeladas y en el sucedáneo del caviar (Belmonte et al., 2016).

6. CONCLUSIÓN

1. El color es un concepto complejo, cuya concepción está sujeta a la interacción de tres factores: el objeto, la luz que lo ilumina y el observador. La interpretación que hace el observador de su entorno, en términos de color, depende de la eficacia de sus fotorreceptores en transducir las manifestaciones luminosas que le rodean.
2. La percepción visual es un proceso clave en la adaptación de los seres humanos a su entorno. Esta capacidad se basa en un sofisticado sistema de recepción, transducción y codificación de la energía que conduce a procesos cognitivos de orden superior. Todo comienza con los conos y los bastones, células que se involucran activamente en la captación de los estímulos luminosos, respondiendo en forma especializada a diferentes intervalos de longitudes de onda de luz visible. Las señales percibidas por estas células son transmitidas al cerebro en forma de señales eléctricas después de una cascada de reacciones bioquímicas en las que participan varias proteínas importantes tales como la rodopsina y la guanilato ciclasa.

3. En la composición de los objetos, los compuestos más importantes responsables del color son los pigmentos y los colorantes. Entre los pigmentos, las clorofilas, carotenoides y antocianinas, combinados en diferentes proporciones, son los responsables de la tonalidad característica de los vegetales. Por su parte, los colorantes son sustancias de origen natural o artificial que se usan para aumentar o impartir color a los alimentos, telas, tintas, entre otros; por su gran valor industrial los colorantes están muy bien caracterizados y clasificados bajo denominaciones universales.
4. La alteración de los procesos fisiológicos a causa de mecanismos genéticos puede conducir a deficiencias en la visión del color y la afectación de la calidad de vida de quienes la padecen. El conocimiento detallado de la fisiología de la visión y la fisiopatología de las anormalidades es un ámbito en el que se observan avances y es necesario que las investigaciones continúen profundizando.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera M, Reza M, Chew R, Meza J. Propiedades funcionales de las antocianinas. Rev Biotecnia. 2011; 13: 16-22.

Álvarez R. Bases físicas de la luz. En: Córdoba J, De la Torre A. Procedimientos Endoscópicos en Gastroenterología. 2ª Edición. Editorial Médica Panamericana. 2009; p. 3-11.

Arias KJ, Ballesteros MD, Martínez K, Poveda E. Los colorantes: el lado oscuro de los alimentos. Una propuesta de enseñanza desde el modelo de investigación dirigida. Revista del Sistema de Práctica Pedagógica y Didáctica. 2018; 7-14.

Astrid G. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. Acta biol. Colomb. 2008; 13 (3): 27-36.

Báez J. Generadores de Colores Naturales: carotenos y xantofilas. Enlace Químico. 2007; 1(7): 1-6. En: <http://www.dcne.ugto.mx/Contenido/revista/numeros/7/A6.pdf>

Belmonte J, Arroyo I, Vázquez M, Cruz D, Peña E. Colorantes Artificiales en alimentos. Rev. Nat. Y Tec. 2016; 10: 24-38.

Benito D. Escáner lector de color para superficies. Universidad Carlos III de Madrid. 2019; 1-105.

Carmona I. De colorantes sintéticos a naturales en la industria alimentaria. Agrimundo, ODEPA, Ministerio Agricultura Chile. 2013; Reporte 5:1-6.

Ciappini MC, Gatti MB, Di Vito MV. El color como indicador del contenido de flavonoides en miel. Rev. Cienc. Tecnol. 2013; 15 (19): 59-63. En: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1851-75872013000100009

Collado J. Peculiaridades percepto cognitivas: diferencias intralingüísticas en categorías de color básicas. Universidad Complutense de Madrid; 2015.

Colorado R, Esparza A, Peña J. La química del color. *Cinvestav*. 2007; 46-57. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/221939709>

Fanlo Zarazaga A, Gutiérrez Vásquez J, Pueyo Royo V. Revisión de los principales test clínicos para evaluar la visión del color, *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 2019;94(1):25-32.

García F, Gandía F, Escribano J. Flores Fluorescentes. *Investigación y Ciencia*. 2011; 415: 50-57.

González de Mejía E, Qiaozhi Z, Penta K, Eroglu A, Lila M.A. The Colors of Health: Chemistry, Bioactivity and Market Demand for Colourful Foods and Natural food sources of colorants. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 2020; 11:145–82. En: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051729>

Grupo de Vías Respiratorias de la Asociación Española de Pediatría de Atención Primaria (AEPAP). El pediatra de Atención Primaria y las Alergias a Colorantes. Protocolo del GVR (publicación DT-GVR-9). 2017. [consultado en abril de 2020]. Disponible en: <http://www.respirar.org/index.php/grupo-vias-respiratorias/protocolos>

Güiza E, López D, Araya R, Romero G, Rodríguez A. Concordancia entre la toma de color del diente con espectrofotómetros digitales y por el operador. *Univ Odontol [Internet]*. 2016; 35(75). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.uo35-75.ctcd>

Hernández R, Candelas C, Meza V, Minjares F. Estabilidad en el color y la concentración de carotenos en zanahorias escaldadas a diferentes temperaturas. *Acta del XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*; 27 y 28 de mayo de 2010. Universidad de Guanajuato, 1481-1488.

Hofmann L, Palczewski K. Advances in understanding the molecular basis of the first steps in color vision. *Prog Retin Eye Res.* 2015 November; 49:46-66. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4651776/>

Ibáñez A. Pigmentos, colorantes y tintes: una particular visión. Educación en la Química en Línea [Internet]. 2013; 19(1):66-75. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/261287364%0APIGMENTOS>

Ibarra-Villalón H. ¿Por qué el cielo es azul? Departamento de Ciencias Básicas. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, 2017. [Consultado en marzo 2020]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/319880879>

Lafuente D. Física del color y su utilidad en odontología. Revista científica odontológica [Internet]. 2008; 4(1):10-15. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=324227908003>

Lafuente D. Física del color y su utilidad en odontología. Rev Cient Odontol [Internet]. 2008; 4(1):10-15. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=324227908003>

Magaña D. Modelo Tricromático de la composición de la luz, no sólo del color. e-Gnosis [Internet]. 2018; 16(2). Disponible en: <http://e-gnosis.udg.mx/index.php/e-gnosis/article/view/205>

Mancilla C, Casterjón C, Rosas T, Blanco E, Pérez S. Extracción Y Separación De Pigmentos Vegetales. Univ del Val México [Internet]. 2009; 96(151):1-15. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/16675209/6-EXTRACCION-Y-SEPARACION-DE-PIGMENTOS-VEGETALES>

Manuel J, Arcos G, Salazar CC. MoleQla. 2011; Número 2 (11):20-21.

Marina L. Obtención de extracto de antocianinas a partir de arándanos para ser utilizado como antioxidante y colorante en la industria alimentaria. [Posgrado]. Universidad Politécnica de Valencia; 2014.

Marín S, Mejía C. Extracción de Colorante a partir de la flor de Jamaica. [Pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua; 2012.

Mesa A. La naturaleza “particular” de la luz. Research Gate [Internet]. 2019; 1-6. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/325976056>

Mínguez M, Pérez A, Hornero, D. Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales; mucho más que simples “colorantes” naturales. *CTC*. 2005; 26: 108-113.

Montoya Y, Camacho M, Sánchez R, Lugo S, Vivas S, Muñoz A. Paradojas del color en dermatología. *Rev. Argent. Dermatol.* 2017; 98(4):1-8.

Oplatowska-Stachowiak M, Elliott CT. Food colors: Existing and emerging food safety concerns. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2017;57(3):524-548.

Perales M, Lozano I, López A. Los colores de la vida. *Ciencia.* 2018; 69(2):85-91.

Restrepo M. Sustitución de colorantes en alimentos. *Rev. Lasallista Investig.* 2007; 4 (1): 35-39.

Sánchez R. La química del color en los alimentos. *Química Viva [Internet].* 2013; 12(3):234–246. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86329278005>

Serrano J. Todo es del color del cristal con que se mira. *An. Quím.* 2019; 115(5):414-420.

Sigurdson GT, Tang P, Giusti MM. Natural Colorants: Food Colorants from Natural resources. *Annu Rev Food Sci Technol.* 2017; 8:261-280. En: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-025923>

Soldevilla M. Evaluación de la concordancia de tres métodos de registro de color dental: guía dentaria, luz polarizada y espectrofotometría [Posgrado]. Universidad Complutense de Madrid; 2014. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/28438/1/Evaluación%20de%20la%20concordancia%20de%20tres%20métodos%20de%20registro%20de.pdf>

Stivala A, Pezzucchi J, Anguio M.B. Nociones elementales del color. Propiedades, desaturación y uso simbólico. *Lenguaje Visual Anguio.* 2014; 1-16.