

“**E**l color es una herramienta para comunicarnos”.

Ernesto Montero Zeledón\*  
emontero@itcr.ac.cr



Dr. Manuel Melgosa Latorre.

#### Palabras clave:

Colorimetría científica, color, ciencia del color, imagen en color, teoría del color.

La visita del Dr. Manuel Melgosa Latorre a la Escuela de Física del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) brindó una magnífica oportunidad para aproximarse al poco conocido mundo de la colorimetría científica; quienes asistieron a sus charlas pudieron conocer sus fundamentos y valorar las posibilidades que ofrece la incorporación de este conocimiento en la investigación científica.

Catedrático de Universidad (área de Óptica) en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, el Dr. Melgosa tiene más de 30 años de experiencia en investigaciones sobre el tema de color y sus aplicaciones.

Su estancia en el Laboratorio de Espectroscopia Molecular, Imágenes y Color (LEMIC) de la Escuela de Física del TEC, también permitió que avanzaran nuevas ideas para los próximos artículos del proyecto de investigación sobre la evolución del color en el proceso de recubrimientos de tabletas farmacéuticas, con el que colabora desde el 2015. Este proyecto se desarrolla en la Escuela de Física con la participación de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Costa Rica (UCR).

*La tienda de las curiosidades sobre el color*, escrito en colaboración con el profesor Mark Fairchild, del Instituto de Tecnología Rochester (EE.UU), es uno de sus trabajos más populares en su faceta como divulgador de la colorimetría, pues allí responde de forma amena diversas preguntas básicas y profundas sobre su especialidad, lo que le valió el Premio a la Divulgación de la Ciencia de la Universidad de Granada en 2012. Quienes compartimos su primera visita académica al país, esperamos que no sea la última.

#### PREGUNTA (P): ¿Qué es el color?

**RESPUESTA (R):** Las preguntas más sencillas tienen respuestas complejas y me parece que esta es la situación de la pregunta que me plantea. Obviamente, todo el mundo tiene una idea intuitiva de lo que es el color, cuando de forma espontánea habla de que algo es azul, rojo, verde, blanco o negro; pero en mi opinión, el color es solo una parte de la percepción visual, y digo una parte porque nuestro sistema visual también percibe la forma o el tamaño, entre otros atributos. El color depende del estímulo nervioso producido en nuestra retina cuando la luz incide sobre ella y por ello, podemos decir que vemos el color con el cerebro.

#### P: ¿Puede un físico estudiar el color?

**R:** La física pretende entender los fenómenos de la naturaleza y sus leyes subyacentes. El color es un fenómeno natural y como tal puede ser estudiado por la física. Sin embargo, pienso que preguntas como qué es la materia, qué es la luz, qué es el color, van más allá del ámbito de la física. La ciencia del color es multidisciplinar y para ser entendida es necesario tener en cuenta la física, la química, la fisiología, la psicología y la sociología, entre otras.

#### P: ¿Cuán importante es el color en nuestra sociedad?

**R:** Se ha dicho que en torno al 90 por ciento de la información que nos llega del mundo que nos rodea lo hace a través del sentido de la vista y una buena parte de esa información la da el color. Las personas con una visión defectiva del color (llamados daltónicos) deben ser conscientes de su limitación y no pueden acceder a profesiones donde una visión correcta del color sea esencial. De hecho, este problema afecta aproximadamente al 8% de los hombres y solo a un 0,5% de las mujeres. Debo mencionar que el daltonismo no se resuelve eficazmente con el uso de

filtros ópticos, como actualmente propone alguna empresa. Por otra parte, en muchas industrias modernas, como la del automóvil o de los textiles, es preciso llevar a cabo un control de calidad del producto fabricado que incluye el control colorimétrico. Actualmente, todo lo que tiene que ver con imagen en color es muy importante. Piénsese en las pantallas de dispositivos fijos y móviles que usamos a diario, en el creciente uso de dispositivos de realidad virtual, en la exactitud de color en las compras por Internet, en la reproducción de imágenes de un monitor en una impresora, en la iluminación de edificios y obras de museos, en el uso del color en diseño y marketing, etc. En todas esas áreas la ciencia del color es una herramienta útil y necesaria.

**P: ¿De qué depende el color de las cosas?**

**R:** En una primera aproximación, en las situaciones más usuales, el color de las cosas depende de tres factores: la fuente de luz que ilumina al objeto, la naturaleza del objeto iluminado y los fotorreceptores de la retina humana (llamados conos), cuyas señales se transmiten al cerebro. Este último factor es el más importante de los tres pues, como hemos dicho previamente, el color es principalmente una percepción humana. Además, puede haber factores adicionales que afectan al color percibido como, por ejemplo, el grado de adaptación previa del observador o el fondo sobre el que se percibe un cierto objeto. Es fácil comprobar que un mismo objeto se ve más claro sobre un fondo negro que sobre un fondo blanco, en particular cuando el tamaño del objeto es mucho menor que el del fondo. Por otra parte, conviene también tener en cuenta que en la naturaleza hay muchas formas de generar colores. El color del arco iris o los colores interferenciales que se observan en algunos animales (mariposas, insectos, plumas de pájaros) son ejemplos de ello.

**P: ¿Se puede decir que el color no es una propiedad de los objetos?**

**R:** Las propiedades de los objetos influyen en el color que presentan al ser iluminados por una fuente de luz, pero no determinan unívocamente el color. Por ejemplo, cuando

decimos que un tomate maduro es rojo, lo decimos porque suponemos que está iluminado por luz blanca (luz día). Como los pigmentos de la superficie del tomate absorben las longitudes de onda cortas y medias (azules y verdes), reflejando solo las largas longitudes de onda, se genera la sensación que llamamos ‘rojo’. Pero si ese tomate se iluminase solo con luz azul se vería negro ya que, como hemos dicho, las longitudes de onda corta (azules) no se reflejan, sino que son absorbidas por los pigmentos de la superficie del tomate. Otro ejemplo bastante evidente respecto a su pregunta es el caso de una pantalla de proyección. Decimos que las pantallas son blancas, pero obviamente su color cambia con la luz que se proyecta sobre ella, por lo que solo podemos decir que “la pantalla es blanca” cuando se ilumina con luz blanca.

**P: ¿Los animales también pueden ver en color?**

**R:** Como explica mi colega el profesor Mark D. Fairchild, la visión animal es algo fascinante de lo que habría mucho que aprender. Muy pocos animales tienen una visión del color semejante a la de los humanos. De hecho, parece que solo unas pocas especies de monos y peces ven el color como nosotros. También es cierto que algunos pájaros e insectos pueden ver más variaciones de color que nosotros. Pero la mayoría de los animales no pueden ver el color tan bien como nosotros, solo ven grises con distintos matices y quizá algún cambio de tono. Muy probablemente, algunos animales como los gatos, los perros y otros mamíferos no pueden ver ningún tipo de color. En cambio, aunque no pueden ver el color, algunos de esos animales ven de noche mucho mejor que nosotros, pues sus ojos son más sensibles que los nuestros. La percepción del color en los humanos está basada en la existencia en nuestra retina de tres tipos de fotorreceptores llamados ‘conos’. Hay especies de pájaros, peces e insectos que tienen más de tres tipos de fotorreceptores. Probablemente la visión del color en la especie humana ha sido una ayuda para su supervivencia, permitiéndonos encontrar comida saludable y madura, compañeros sanos y sexualmente aptos, advertencia de algunos peligros, entre otras.

**P: ¿En nuestra percepción es más importante la forma o el color de las cosas?**

**R:** En el reconocimiento de un objeto cualquiera, además del color, también influye su forma, tamaño, textura, etc. Aunque mi interés científico se centra en el estudio del color, debo reconocer que no siempre el color es el principal atributo de un objeto. Por ejemplo, en el llamado ‘efecto Stroop’ se presenta a un sujeto una lista de nombres de colores de modo que cada nombre está escrito con un color distinto al del nombre del color. Si se le pide a una persona que diga en voz alta la lista de los nombres de los colores, lo hace mucho más rápido que si se le pide que diga los colores de las palabras de la lista. Según esto, podríamos concluir que en este caso la forma es más importante o significativa que el color para el cerebro humano.

**P: ¿Es correcto enseñar teoría del color utilizando el círculo cromático?**

**R:** Los círculos cromáticos se limitan a la propiedad del color más intuitiva y fácil de entender, que denominamos ‘tono’. Es decir, en los círculos cromáticos se consideran normalmente los colores tradicionales del arcoíris, descritos por Newton, más los colores llamados púrpuras que conectan los extremos azul y rojo del espectro visible. A menudo, sobre todo en la formación de pintores y artistas, se han empleado con éxito los círculos cromáticos para describir las leyes de las mezclas de colores, tanto sustractivas como aditivas. No hay ningún problema en usar esta herramienta útil e intuitiva, pero sin olvidar que en realidad el color es (al menos) tridimensional, de modo que en un estímulo de color existen también los atributos de claridad y de croma que, añadidos al tono, constituyen un ente tridimensional que suele denominarse ‘sólido de color’.

**P: ¿Cuán desconocida es la teoría moderna del color?**

**R:** Me parece que la formación que se recibe sobre ‘colorimetría’, la ciencia del color, es escasa. Para la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), la publicación básica sobre colorimetría es la CIE 015:2018, que



resume los temas principales de la teoría del color, también denominada 'colorimetría CIE'. También hay libros de texto que permiten adquirir una buena formación científica en torno a muchos aspectos de la ciencia del color. Respecto al conocimiento sobre ciencia del color, quizá el problema principal reside en que el color es una ciencia amplia y multidisciplinar, por lo que es difícil encontrar materiales que satisfagan simultáneamente las necesidades de un científico, un artista, un ingeniero, un psicólogo o un tecnólogo.

**P: ¿Deberían llevar cursos de colorimetría los físicos y los ingenieros?**

**R:** Cuando yo estudié física en la Universidad de Granada (España), se estudiaba una asignatura troncal de 'Óptica' en el tercer curso de carrera, y la colorimetría era una parte importante de la asignatura optativa 'Ampliación de Óptica', impartida en quinto curso. Desafortunadamente, en la actualidad la colorimetría no está presente en los planes de estudio de física de muchas universidades españolas. Pienso que la formación sobre óptica y colorimetría es muy importante, en especial para físicos, ingenieros (por ejemplo, ingenieros químicos e ingenieros informáticos) y también para

ópticos-optometristas. Es evidente que la cuantificación y tratamiento del color en la industria, así como la resolución de problemas específicos relacionados con la visión humana o con la visión artificial requieren de una cierta formación sobre colorimetría.

**P: ¿Se puede medir el color de forma precisa?**

**R:** Sí. Ciertamente, la especificación del color mediante palabras es bastante imprecisa. Una opción mejor es la especificación del color por comparación visual con colecciones de muestras con notaciones específicas, denominadas 'atlas de color' como, por ejemplo, el atlas Munsell. No obstante, este método también tiene importantes limitaciones, por ser subjetivo y porque el número de muestras disponibles en los atlas es mucho menor que el número de colores discernibles para el ojo humano. Para medir el color con precisión hay que medir la radiación emitida por la muestra y suponer un observador patrón de la CIE, lo que conduce a la obtención de tres números (un vector), llamados valores triestímulo. Como cualquier otra medida relacionada con la luz, la medida física del color es una

medida de una cierta dificultad, aunque existen instrumentos (por ejemplo, los espectrorradiómetros, espectrofotómetros y colorímetros) que la realizan de una forma rápida y no invasiva. Por supuesto, la medición del color debe también incluir la especificación de la correspondiente incertidumbre, como en cualquier otra magnitud física.

**P: ¿Cuáles y cuántos son los atributos del color que deben ser medidos?**

**R:** Suele decirse que el color es una magnitud tridimensional, ya que la medida física de un color se basa en tres números. Sin embargo, recordemos que realmente el color no es una medida física sino más bien una percepción humana. Para describir de forma completa la apariencia de color se necesitan cinco dimensiones o atributos perceptivos: la claridad, el croma y el tono, que se usan para describir los objetos iluminados, más la luminosidad y el colorido, que describen el entorno de iluminación. La luminosidad es nuestra percepción de la cantidad de luz procedente de un estímulo. La claridad es la luminosidad de un estímulo con respecto a la luminosidad de un estímulo que nos parece blanco bajo esa misma iluminación (o sea, la claridad es una luminosidad relativa).

El colorido es nuestra percepción de la cantidad de tono (definido como diferencia respecto a un gris neutro, blanco, o negro) presente en un estímulo. Por su parte, el croma es el colorido de un estímulo respecto a la luminosidad de un estímulo blanco iluminado de la misma manera. Finalmente, el tono es el atributo de la apariencia que a menudo se designa coloquialmente como 'el color' de un estímulo. El tono es simplemente la similitud con rojo, verde, amarillo o azul, que son ejemplos de los principales nombres de tonos.

**P: ¿Hay diferencias entre el color que medimos y el color que vemos?**

**R:** Inicialmente la ciencia del color solo pretendía cuantificar el color, para poder resolver algunos problemas concretos, como el hecho de que dos objetos con distintas reflectancias espectrales puedan verse iguales bajo una cierta luz y diferentes bajo otra (fenómeno denominado 'metamerismo'). De hecho, poder cuantificar y medir instrumentalmente el color de forma continua es ya un logro importante para muchas aplicaciones. Pero la finalidad más profunda de la ciencia del color, en particular de los 'modelos de apariencia del color', es justamente 'medir lo que vemos'. Lograr ese objetivo es un campo de investigación bastante activo en la actualidad. Quizá muchos de ustedes habrán oído hablar de ciertas imágenes ambiguas, como la foto viral del vestido ('the dress'), que para unas personas es azul y negro mientras que para otras es blanco y dorado. Este es un ejemplo de una situación en la que no somos capaces de medir lo que vemos sin que aún sepamos explicar de forma total la causa o las causas por las que sucede.

**P: ¿Es importante medir el color en la vida cotidiana?**

**R:** El color es una herramienta para comunicarnos. Piénsese, por ejemplo, en las señales de tráfico vial, o en el complejo cuadro de mandos de la cabina de un avión moderno. Por tanto, si no se controla con rigor la información de color se pueden producir consecuencias lamentables. Un cambio de color puede ser el indicio más

evidente de que se ha producido una reacción química como, por ejemplo, el deterioro de un alimento para consumo humano. Un cambio de color en el líquido desinfectante de unas lentes de contacto puede ser un indicador efectivo de que dichas lentes están listas para volver a ser usadas de forma segura. Un material termocrómico en el que el color cambia con la temperatura puede ser útil para indicarnos si tenemos fiebre o si una bebida está demasiado caliente para ser consumida. Lograr un color blanco adecuado es muy importante en la ropa que llamamos 'blanca', o en otras aplicaciones como los blanqueamientos dentales. El color es un indicio importante del grado de madurez de una fruta, permitiéndonos conocer el tiempo óptimo para su recolección. También es un elemento esencial de muchos logotipos y símbolos de identidad corporativa de empresas e instituciones, por lo que conviene que esté rigurosamente especificado. En fin, pienso que las aplicaciones del color en nuestra vida ordinaria son muy numerosas y la medida cuantitativa del color es una necesidad en muchos casos.

**P: ¿En cuáles industrias es importante la colorimetría?**

**R:** En la industria de fabricación de envases es importante el control colorimétrico, pues si hay variaciones de color entre los envases de marca expuestos en una estantería, es muy probable que el consumidor desconfíe de la calidad del producto, simplemente por la apariencia heterogénea de sus envases. En la industria textil, la industria de pinturas o la industria cerámica el control colorimétrico es también importante. Al comprar una vivienda, probablemente reclamaríamos si observamos que alguno de los mosaicos de la cocina o del cuarto de baño tiene un color distinto al de los restantes. En la industria del automóvil el control colorimétrico es muy riguroso. Las distintas partes de la carrocería se fabrican en distintos lugares, pero finalmente al ensamblar el vehículo el color de todas las partes debe ser idéntico. En este caso, usar una misma pintura no resuelve el problema, porque los sustratos son diferentes (por ejemplo, el parachoques puede ser de un material diferente al de

las puertas, por motivos de seguridad), y eso hace que el color final aplicando una misma pintura no sea exactamente el mismo. Debido a fluctuaciones difíciles de controlar, generar exactamente el mismo color de producto puede ser muy caro, por lo que en la práctica suele bastar con que en la producción no haya diferencias de color perceptibles para el ojo humano. Es suficiente con que la producción se mantenga dentro de unos límites o tolerancias de color, que deben ser acordados *a priori* entre cliente y fabricante, para evitar reclamaciones y pérdidas económicas. En definitiva, cualquier industria en la que el color sea importante para el producto final debe usar la colorimetría dentro de su control de calidad.

**P: ¿Puede ser de interés la medición del color en la investigación científica?**

**R:** Es un hecho que la medida del color se ha usado ya en investigaciones científicas de muy distinta índole. Puedo poner algunos ejemplos de nuestra propia investigación, que han generado publicaciones en revistas con índice de impacto (colección principal de Web of Science). Hemos elaborado tiras reactivas de un solo uso con las que, mediante análisis colorimétrico, es posible determinar concentraciones de algunos elementos químicos presentes en aguas y bebidas. Hemos estudiado el color de zumos de naranja en conexión con sus contenidos en carotenoides. También hemos estudiado el grado de madurez de uvas mediante análisis colorimétrico de imágenes. Se han establecido relaciones entre el color y la composición química de caolines. Se ha propuesto una medida de blancura de talcos como un indicador de su idoneidad para uso farmacéutico, al estar bien correlacionado con los resultados obtenidos en los análisis de las farmacopeas. Se ha estudiado el color como indicador de la composición química, estado de agregación y grado de humedad de suelos mediterráneos para uso agrícola. Se ha estudiado la variación del contraste facial para algunas barras de labios comerciales, comparando el efecto de las modernas fuentes de luz LED frente a fuentes de luz convencionales. Hemos estudiado el color

de aceites de oliva vírgenes proponiendo una nueva escala para especificarlo y un dispositivo electrónico de bajo coste para su medida. Hemos estudiado la evolución del color en yesterías de tradición islámica al usar distintos materiales en los procesos de restauración arqueológica. En cooperación con investigadores de Costa Rica, hemos realizado un primer análisis del proceso de coloración de comprimidos farmacéuticos por un procedimiento de aspersión aleatoria. En el 2019, la palabra 'color' estuvo en los títulos de más de 3600 artículos publicados en revistas de la colección principal de Web of Science, lo que da una idea de la amplia investigación científica que se realiza actualmente en relación con el color.

**P: ¿Puede la colorimetría fortalecer la investigación aplicada en Costa Rica?**

**R:** Por supuesto. Para mí ha sido una gran satisfacción poder visitar el Laboratorio de Espectroscopia Molecular, Imágenes y Color (LEMIC) de la Escuela de Física del Instituto Tecnológico de Costa Rica, donde cuentan con una buena instrumentación para la medida del color y para el análisis de imágenes de objetos de color (equipo DigiEye). Pienso que sería interesante que esos equipos se usen aún más en el futuro para investigaciones aplicadas, en conexión con los intereses específicos de diversos

grupos de investigación e industrias de Costa Rica.

**P: ¿Qué lo motivó a escribir “La tienda de las curiosidades sobre el color”?**

**R:** Yo solo fui uno de los primeros 'clientes' de '*La tienda de las curiosidades sobre el color*', un apasionante proyecto de estimulación y divulgación del conocimiento científico sobre el color, liderado por el profesor Mark D. Fairchild. Cuando conocí este proyecto, me apasionó la amenidad, precisión y claridad de las respuestas del profesor Fairchild a algunas preguntas sobre el color que él mismo eligió a modo de ejemplo. Rápidamente me animé a responder a su invitación de proponer preguntas que permitieran elaborar materiales para su proyecto. Tras conocer una primera versión de las preguntas y respuestas que se seleccionaron a partir de las sugerencias realizadas por muchas personas, en algún momento al principio del año 2010, pensé que una parte de mi 'pago' por los valiosos 'productos' que yo mismo había adquirido en esta 'tienda' podría ser dedicar un poco de mi tiempo a traducir al español los textos originales en inglés, de modo que el proyecto original de Fairchild fuera bilingüe. No hay que olvidar que actualmente el español es la segunda lengua más hablada del mundo, siendo usada por unos 500 millones de

personas. Durante la escritura del libro intercambié muchos correos electrónicos con el profesor Fairchild, siempre dispuesto a responder a mis preguntas y a atender todas mis modestas sugerencias. Debo añadir que el proyecto de este libro enseguida entusias mó a los responsables de la Editorial Universidad de Granada, que recabó el apoyo del Parque de las Ciencias de Granada y realizó un excelente trabajo editorial.

**P: ¿Cuál es el futuro de la colorimetría?**

**R:** Hay mucho por hacer, tanto en la investigación que se denomina 'básica' como en el campo de las aplicaciones. En comparación con otras ciencias, la ciencia del color es aún muy joven, pues el primer observador patrón colorimétrico de la CIE se propuso en 1931, hace menos de un siglo. Pienso que veremos nuevos desarrollos de la ciencia del color con una base más fisiológica que los existentes actualmente, lo que permitirá poder medir mejor lo que vemos. ■

\*El doctor Ernesto Montero Zeledón es profesor e investigador de la Escuela de Física del Instituto Tecnológico de Costa Rica.