

Cartografía del color según su percepción visual

Cien años atrás, un artista llamado Albert Henry Munsell cuantificó los colores con arreglo a su percepción visual; todavía hoy es corriente el uso científico del sistema

Edward R. Landa y Mark D. Fairchild

En Estados Unidos es frecuente que un color particular, el amarillo, evoque los autobuses escolares y les sirva de identificación llamativa. Cabe preguntarse, sin embargo, cómo puede conseguirse un amarillo idéntico en todos los autobuses escolares del país.

A nadie se le ocurriría utilizar una misma remesa de pintura para todos los autobuses. Antes bien, se aplican unos estándares de color determinados para garantizar que toda la pintura fabricada para esos vehículos mantenga su color dentro de ciertos límites de tolerancia y que éstos no se alteren cuando se aplica a los autobuses.

¿De dónde vienen tales normas? ¿No son sino cálculos de un físico o químico provisto de un espectrómetro? Para los colores que utilizamos en la vida real la respuesta no es tan sencilla. Suelen asociarse colores a ciertas longitudes de onda del espectro electromagnético, pero en realidad es más correcto decir que estos estímulos provocan la *sensación* de un color específico al ser mirados en determinadas condiciones. Sin observador humano, pues, no habría colores reales. Los estándares de color prácticos han de tener en cuenta este factor subjetivo.

La cartografía de la percepción humana del color se inició de verdad en el siglo XIX. Se acaba de cumplir el centenario del primer atlas del color, original del artista Albert Henry Munsell, en 1905.

La sistematización ideada por Munsell ha influido en casi todos los sistemas

modernos de medición y especificación del color. Así, por ejemplo, un fabricante de autobuses escolares dispone hoy de un estándar numérico basado en la medición por instrumentos de las características espectrales de reflectancia de la pintura. Tales números se apoyan en cálculos colorimétricos según el sistema llamado CIE (por la *Commission Internationale pour l'Éclairage*, Comisión Internacional de Iluminación): pueden así establecerse fórmulas de pinturas y pigmentos que consigan con más facilidad el color de autobús deseado.

Los valores de la CIE tienen además como soporte unas muestras físicas que exponen el amarillo óptimo para el autobús escolar, así como sus límites en cuanto a las dimensiones perceptibles del color que primero describiera y midiera Albert Munsell. Estas son: luminosidad-oscuridad, matiz y saturación (grado de diferencia de la sensación de color con respecto a un gris neutro).

Con sistemas de este tipo se crean y controlan casi todos los productos en color. Sean ejemplos los tejidos de vestir, las tintas de impresoras, la codificación de señales de televisión digital, los colores de señales luminosas, las pinturas tornasoladas que cambian de color según el ángulo de observación, los colores de la cerveza en el bar local y los lápices de colores que se llevan los niños a la escuela.

Una historia en color

La descripción del color interesó mucho a los artistas y hombres de ciencia en el siglo XIX y principios del XX. Echaron

en ello su cuarto a espadas desde los alemanes Johann Wolfgang von Goethe y Wilhelm Ostwald al impresor y pedagogo reformista estadounidense Milton Bradley, hoy más conocido por sus juegos de mesa.

El interés de Munsell por la descripción del color se despertó en 1879, en su época de estudiante en la Escuela Normal de Artes de Massachusetts (MNAS). Leyó el texto que acababa de publicar Ogden Rood, físico de la Universidad de Columbia: *Modern Chromatics with Application to Art and Industry*.

Sin duda, los sistemas de color que describía Rood influyeron en Munsell y le estimularon, pero su propio sistema ofrecía características que antes no habían sido descritas, sobre todo las relaciones entre luminosidad, brillo y cromatismo máximo.

Tras haberse graduado en 1881, Munsell fue nombrado instructor en la MNAS, especializándose en anatomía artística y composición del color. En 1892, mientras dibujaba en Venecia con el artista Denman Ross de Boston, anotó en su diario que reflexionaban sobre la necesidad de un cuadro o plan sistemático de colores para la preparación mental y secuencial de la paleta de un pintor. (Ross, profesor de arte en Harvard, continuaría hasta desarrollar su propio sistema de color con una escala de nueve grados en 1907.)

A Munsell no le gustaban nada los nombres de colores entonces en boga, como el “amarillo topacio” o “verde esmeralda”. Al parecer su investigación cuantitativa en la materia se inició en



a



b



c

CORTESÍA DE ROY S. BERNS / AMERICAN SCIENTIST

1. ALBERT H. MUNSELL, insatisfecho con las definiciones del color que él juzgaba arbitrarias, publicó en 1905 un sistema cartográfico del color basado en la percepción humana. Munsell destinaba su sistema a estudiantes de arte, pero hoy se utilizan versiones de sus gráficos en campos tan dispares como la edafología y la restauración artística. En la imagen, Roy S. Berns, del Instituto de Tecnología de Rochester, compara visualmente los pigmentos del cuadro *A Sunday on La Grande Jatte*, 1884 de Georges Seurat con muestras de color tomadas de un Libro de Colores Munsell. Berns utilizó la comparación de colores para confirmar mediciones instrumentales realizadas sobre la pintura. Mediante un cálculo de los efectos del envejecimiento en los pigmentos del cuadro, Berns pudo recuperar digitalmente los colores originales de la obra. Como se aprecia en las ampliaciones (a), los matices amarillos, rejuvenecidos en la restauración digital (b), en la pintura real tienden al marrón por su antigüedad.

el verano de 1898, cuando concibió distintas designaciones de los colores y los representó en ruedas y esferas para servir de ayuda a sus alumnos de composición de color.

En su primer modelo utilizó un globo infantil como base para mezclar colores por rotación. Pudo así crear y demostrar colores de diversos matices con igual luminosidad y equilibrio cromático, de tal modo que al girar los globos producían un gris neutro por mezcla. Rood quedó impresionado por la demostración que le hiciera Munsell, y declaró que “había dado forma científica a una idea artística”. Munsell creó más tarde un fotómetro visual portátil que le permitía calibrar con exactitud la luminosidad percibida de los colores cromáticos contrastándola con una escala de grises.

La obra artística de Munsell se concentró sobre todo en retratos y marinas. Su retrato de Helen Keller decora la Fundación Americana de Ciegos en la ciudad de Nueva York. En 1890 pintó una vista de la casa de verano de los Roosevelt en Campobello, hoy expuesto en el despacho de la madre de

Franklin Delano Roosevelt en Hyde Park, Nueva York. Era, pues, bien conocido en el mundo del arte, pero cuando concibió su representación del color supo también introducirse entre las facultades de ciencia e ingeniería de Boston. Consultó con personas de la talla del notable fisiólogo Henry Pickering Bowditch en la Escuela de Medicina de Harvard.

En 1905, persiguiendo la meta de que “la anarquía sea sustituida por una descripción sistemática de los colores”, Munsell publicó la primera edición de su tratado de 67 páginas *A Color Notation*, en el que describía un sistema de origen propio para especificar colores mediante escalas calibradas de valor (luminosidad), matiz y saturación. El volumen iba precedido por un prólogo de H. E. Clifford, profesor de ingeniería eléctrica en Harvard.

Aunque Munsell perfilara su sistema dentro del ámbito científico, comprobó su importancia por la gran difusión que alcanzaron sus esferas de colores en la sociedad. Por ejemplo, hacia 1901, la compañía de almacenes Filene pidió a

Munsell que presentara sus esferas a la Asociación de Tenderos de Boston y más tarde, en la década de 1920, financió el coste de una gama de colores preparada por la Munsell Color Company para uso de la industria textil. Por aquel tiempo, se exhibía otra de las primeras esferas de Munsell en el Laboratorio de Física de la Universidad de Columbia.

La salud de Munsell decayó rápidamente tras un viaje a Europa en 1914. En mayo de 1917 fue operado de apendicitis, abandonó el estudio que había ocupado desde 1901, y finalmente murió el 28 de junio de 1918, a los 60 años de edad. La empresa que él fundara en 1917 continuó la comercialización de sus productos, cartas de colores entre otros, bajo la dirección de su hijo Alexander.

Hasta 1946 Munsell Color Company había publicado 15 ediciones de *A Color Notation*, además de obras como *Atlas of the Munsell Color System* (1915) y *A Grammar of Color*, en edición póstuma de 1921. Ningún otro sistema de estudio del color ha persistido tanto tiempo con éxito comercial y ha ejercido tanta influencia.

Dorothy Nickerson, que inició su carrera como secretaria de Alexander Munsell y en 1921 pasó a ser ayudante de laboratorio, hizo mucho para adaptar el Sistema de Color Munsell a aplicaciones comerciales y describir su base científica. Participó activamente en la Comisión de Colorimetría de la Sociedad Norteamericana de Óptica y en publicaciones históricas sobre el Sistema Munsell. Fue autora de más de 150 contribuciones y alcanzó un puesto preeminente en el Inter-Society Color Council, que dio su nombre a un premio en 1980.

El Laboratorio de Ciencia del Color, fundado en el Instituto Rochester de Tecnología en 1983, recoge hoy el legado de Albert Munsell, pionero de la investigación sobre esta materia.

Definición del color

En cualquier área de estudio es importante normalizar la terminología. Cuando se habla del color es frecuente confundir o utilizar indistintamente vocablos como “luminosidad” y “brillo”. Incluso en la educación, el tratamiento del color no es coherente. Para un bachiller, el color podría tener tres componentes primarios: rojo, azul y amarillo. Al impresor se le enseña que los tres primarios son cian, magenta y amarillo, mientras que en la rama profesional de la televisión se aprende que los colores básicos son el rojo, el verde y el azul. Por último, para un físico los colores representan distintas porciones del espectro electromagnético visible. Cada uno de estos conceptos del color es correcto en su contexto, pero puede no serlo en otros.

En el campo científico del color, la norma verdadera dimana del Vocabulario Internacional de la Iluminación que publica la CIE: ahí se distinguen con claridad las diversas dimensiones de la experiencia cromática, con términos que definen sin ambigüedades los atributos perceptibles que Munsell estableciera como base de su sistema. El foco de interés para Munsell se centra en describir el color de la superficie de un objeto por tres parámetros: luminosidad (*lightness*), matiz (*hue*) y saturación (*chroma*). Pero ante todo debemos definir el propio significado de “color”.

Pocas personas son capaces de dar una definición precisa del color. Es casi imposible hacerlo sin valerse de ejemplos. La propia CIE recurrió a incluir nombres de colores en su definición del color. La parte más delicada de la definición formal del color, que nunca debe olvidarse, es la que lo describe como un “atributo de la percepción visual”, es decir, la apariencia que toma el color ante los observadores humanos.

Es, sin embargo, sabido que la percepción del color varía ligeramente de un sujeto a otro, e incluso durante la vida de una misma persona. Por ejemplo, el cristalino se endurece con la edad, y por tanto absorbe y dispersa más los colores de corta longitud de onda; es como si mirase a través de un filtro cada vez más amarillo.

Siendo tan variable, y sin embargo esencial, el papel del observador humano en los modelos de color, podría dudarse de la exactitud de las mediciones del color. Por ello se ha cuantificado la respuesta visual al color mediante pruebas concienzudas, y se han definido equivalentes matemáticos de la percepción media del color en los seres humanos a través de la creación de “observadores estándar”, capaces de simular la respuesta humana al color por medios informáticos. Tales sistemas llevan casi 75 años normalizados y han logrado un gran éxito tanto en la investigación como en aplicaciones prácticas.

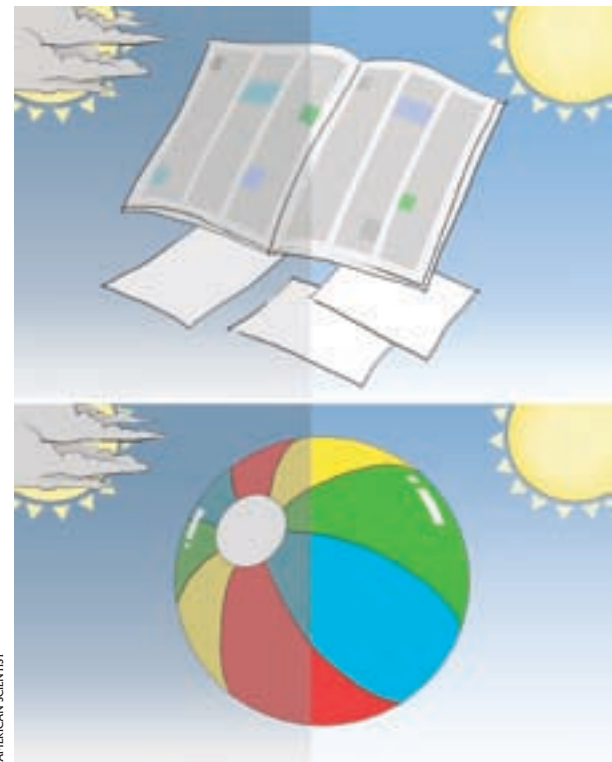
Munsell se resistió a las sugerencias de vincular su sistema a las escalas físicas de longitudes de onda, porque comprendió que ello no era factible. Se concentró, en cambio, en el desarrollo de un sistema que describiera de modo cuantitativo y sistemático la apariencia general de los colores. Hoy día los científicos se afanan en preparar simulaciones matemáticas tan exactas como la cuantificación de observaciones visuales



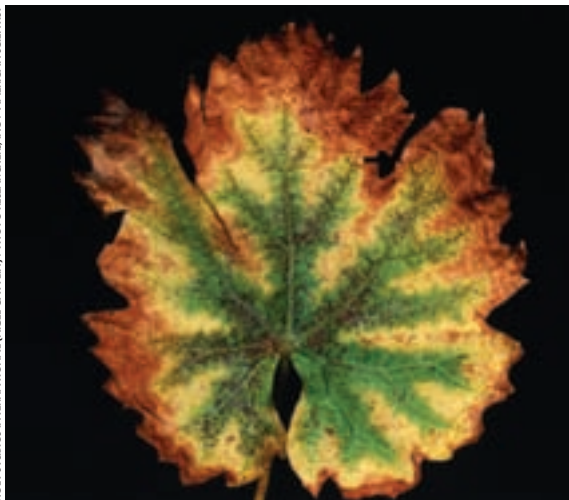
realizada por Munsell. Por esta razón, pese a los notables avances en la teoría y las técnicas de medición del color, siguen utilizándose observadores humanos como árbitros finales que confirmen los resultados instrumentales.

Entre las propiedades del color definidas por Munsell, quizá sea el *matiz* la más fácil de comprender. Es la propiedad por la que un color produce una sensación semejante a la producida por uno de los colores puros percibidos —rojo, amarillo, verde y azul— o por una combinación de dos de ellos. Para describir el matiz suele utilizarse, como hiciera el propio Munsell, una disposición de los colores en círculo.

Un punto importante de esta descripción, y de la definición dada por la CIE, es que existen matices puros —una vez más, rojo, verde, amarillo y azul— que siguen la teoría de colores opuestos que postulara primeramente Ewald Hering a finales del XIX. Hering señaló que cier-



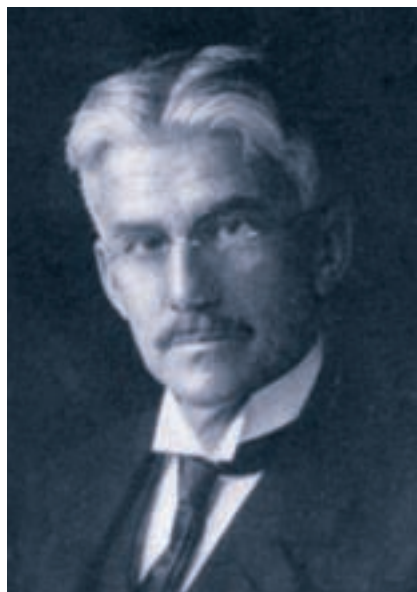
2. EL BRILLO Y LA INTENSIDAD DEL COLOR son percepciones de los valores absolutos; en cambio, la luminosidad y la saturación de color son percepciones relativas. Periódico y papel blanco (*arriba*), sometidos a luz tenue, brillan menos que bajo una luz intensa. La luminosidad del periódico, sin embargo, siempre será menor que la del papel blanco: seguirá pareciendo más oscuro que la hoja de papel aun cuando brille mucho al exponerle a una fuerte luz. De modo análogo, un balón de playa (*centro*) tendrá colores más intensos al recibir más luz, pero la saturación de sus colores —la diferencia con un gris neutro contemplado a la misma luz— permanece casi idéntica. Como la luminosidad sólo se aprecia entre colores afines, una bombilla apagada (*abajo*) podrá parecer gris, pero al encenderla siempre se verá blanca.



tos matices nunca se perciben conjuntamente, como serían el verde rojizo o el amarillo azulado. De ahí partía la idea fundamental de que la visión humana del color está codificada en canales del rojo al verde y del azul al amarillo.

La designación de matices dada por Munsell respeta esa teoría, pero añade un quinto matiz principal, el púrpura, para lograr otra propiedad deseada: iguales separaciones (grados) de percepción entre los matices que cubren el círculo entero. Esto significa que el cambio de matiz percibido es igual para cada grado numérico de la escala de matices de Munsell. Por otro motivo añadió Munsell el púrpura a los matices principales:

4. DOROTHY NICKERSON (*izquierda*) fue defensora infatigable e investigadora del sistema de color establecido por Albert Munsell (*derecha*). A su muerte en 1985, el conocido científico David L. MacAdam, de la Universidad de Rochester, escribió "Lamentemos el silencio de la profetisa del color, la inspirada por Munsell."



3. EN MUCHOS ASPECTOS DE LA CIENCIA Y LA TÉCNICA son de uso común diversas formas del sistema de color Munsell. En botánica se utilizan Cartas de Tejidos de Plantas Munsell para la clasificación taxonómica y la identificación de plagas que producen la decoloración de tejidos, como la carencia de potasio en una hoja de parra (*izquierda*). Para el teñido de las telas se seleccionan los colores a partir de unos muestrarios que permiten mantener el mismo color en las sucesivas estampaciones de tejidos (*derecha*).

hay muchas gradaciones de matiz entre los que percibimos como rojo puro y azul puro. Dicho de otro modo, es posible distinguir numerosos matices de púrpura, pero no tantos matices entre el verde y el amarillo.

Es frecuente confundir los atributos de *brillo* y *luminosidad*. Se llama *brillo*

a la percepción absoluta de la cantidad de luz emitida por un estímulo; la *luminosidad* viene a ser el brillo relativo. Dicho de otro modo, la luminosidad es nuestra percepción del brillo de un objeto con respecto al brillo de un objeto que aparezca como blanco al ojo humano bajo una iluminación semejante. Nuestro sistema visual responde generalmente a la luminosidad, no al brillo. Acaso se comprenda mejor con un ejemplo.

Un periódico típico, leído en el interior, posee un brillo y una luminosidad determinados. Puesto al lado de un folio normal, el periódico parecerá ligeramente gris, y blanco el papel de oficina. Si ambos papeles se sacan al exterior en un día soleado, el brillo de uno y otro habrá aumentado mucho, pero el periódico seguirá apareciendo más oscuro que el folio de oficina porque su luminosidad es inferior. La cantidad de luz que refleja el periódico en el exterior podría ser más de cien veces la que reflejaba el folio de papel en el interior, pero la relación entre las cantidades de luz que reflejan uno y otro no ha variado con el cambio de iluminación. La diferencia en brillo de un papel con respecto a otro, es decir, la luminosidad, no ha cambiado. La escala de valores de Munsell es, pues, una escala de luminosidades.

Interesa señalar que la luminosidad solamente puede apreciarse entre *colores afines*. Son *afines* los colores que se con-

5. ES COMPLICADA LA RELACION entre los sistemas basados en la percepción humana del color y los que se basan en mediciones físicas. Hay muchas combinaciones de longitudes de onda que producen la misma sensación de color; por eso Munsell tomó la percepción del color como base exclusiva de su sistema. La luminosidad, llamada “valor” por Munsell, no aumenta linealmente con el brillo o luminancia. Una muestra que el ojo humano percibe de color gris medio (un valor 5 en el sistema Munsell) tiene una luminancia relativa que ronda el 20 por ciento (al 100 por ciento parecería blanca). Todavía es más compleja la relación entre las dos dimensiones restantes del sistema Munsell, el matiz y la saturación, y las mediciones físicas de la luz como la longitud de onda.

templán y valoran con respecto a otros bajo iluminación semejante. Por esa razón no puede haber una bombilla de luz gris: encendida y vista en aislamiento, sería el estímulo más brillante en el campo de visión y parecería blanca.

Las definiciones de *intensidad de color (cromaticidad)* y *saturación de color (chroma)* guardan gran semejanza con las de brillo y luminosidad, ya que la intensidad de color es una percepción absoluta y la saturación es relativa. En esencia, la primera describe la cantidad, o la intensidad de un estímulo de color: será nula para un estímulo gris y elevada para un estímulo rojo vivo (también de matiz rojo). De modo análogo, la saturación es a la intensidad de color lo que la luminosidad es al brillo.

Como sucede con la luminosidad, el sistema visual humano se comporta generalmente como un detector de saturación de colores. Cuando sacamos a pleno sol un objeto de color desde una habitación en penumbra, nos parece de color más vivo. Pero la saturación permanece aproximadamente constante, puesto que también habrá aumentado el brillo de un estímulo blanco sometido a las mismas condiciones de luz.

Sistematización del color

Munsell decidió establecer un sistema centrado en los atributos de percepción de la luminosidad (denominada valor Munsell), el matiz y la saturación, por ser las tres dimensiones más íntimamente relacionadas con nuestra experiencia diaria del color de los objetos. Nuestra visión se adapta a cambios de increíble magnitud en el color y el nivel de iluminación, lo que nos ayuda a percibir los colores con suficiente estabilidad. Por ello un sistema de percepción sensorial, como el de Munsell, tendrá máxima utilidad si se calibra con respecto a las dimensiones perceptibles del color que guarden relación más estrecha con esas percepciones relativamente estables.

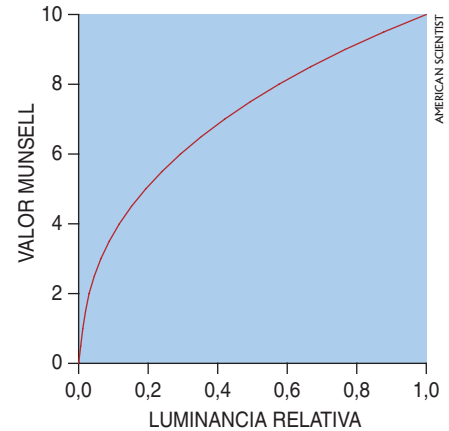
Tal sistema puede representarse por el llamado “árbol de Munsell”. Su “tronco” lo constituye una escala de valores (luminosidades), que van desde

la oscuridad en la base a la luz de su copa. Cada “rama” viene a ser un matiz diferente, y las “hojas” a lo largo de la rama corresponden a distintos grados de saturación que aumentan con la distancia al centro del árbol. En el sistema de Munsell el color de un objeto está determinado por su matiz (un conjunto de letras y cifras), su valor (del 0 al 10) y su saturación (un número que va desde 0 para el gris neutro hasta alrededor de 15 para las muestras de color más saturado; la saturación máxima alcanzable depende del matiz particular y del valor escogido).

Así, por ejemplo, el color rojo intenso de un coche deportivo podría ser designado como 4R 3/12: el 4R indica un matiz ligeramente más azulado que el rojo puro, el valor 3 denota un color más bien oscuro (al valor 5 le corresponde una percepción de luminosidad a mitad de la escala entre el blanco y el negro), y el 12 de saturación indica que es un rojo fulgurante.

Parte importante de la sistematización ideada por Munsell fue la creación de escalas divididas en incrementos numéricos iguales para cada una de las dimensiones de color perceptibles. Dividió el círculo de los matices en 100 grados de percepción uniformes, y marcó en él cinco matices principales (rojo, amarillo, verde, azul y púrpura) más otros cinco intermedios. Para cada uno de esos 10 matices creó 10 incrementos adicionales más pequeños. En cuanto a la escala de saturación de Munsell, está dividida en grados de amplitud aproximadamente la mitad que los de la escala de valores (luminosidades), de modo que variar el valor en un grado se percibirá como una diferencia de color de magnitud más o menos equivalente a dos grados de saturación.

Aunque los colores del sistema Munsell vengan especificados por su percepción en cuanto a valor, saturación y matiz, una vez creadas muestras para cada designación, el sistema podrá registrarse y reproducirse por medio de mediciones físicas del color. En concreto, se utiliza la reflectancia espectral de las



muestras y la distribución espectral de la energía de iluminación, a la par que las funciones de respuesta humana normalizadas, para designar las coordenadas físicas del color denominadas *valores de triestímulo*, que están directamente relacionadas con la longitud de onda y la energía. Estas coordenadas definen en último término el sistema y permiten reproducir las muestras de colores nominales. Las especificaciones numéricas del color permiten que el sistema se siga reproduciendo, aun cuando las muestras de una realización actual se desvanescan o deterioren por otros motivos.

Por la uniformidad visual, uno de sus atributos más destacados, el sistema Munsell adquirió gran relieve e influencia entre las especificaciones de colores del siglo pasado. Las primeras muestras recogidas por Munsell en su atlas de 1915 procedían de sus propias observaciones visuales. El *Munsell Book of Color* de 1929 define las muestras de color a través de experiencias más detalladas, con mejor sistematización que el atlas de 1905. Realmente puede considerarse que esta edición clásica del libro de Munsell colocó el sistema en vanguardia de la ciencia del color.

Pese al éxito indudable que tuvo la obra en 1929, se reconoció que las tabletas de color que componían el sistema no se ajustaban exactamente a la teoría en la totalidad del libro (unas 1500 muestras). La Comisión de Colorimetría de la Sociedad Norteamericana de Óptica realizó experimentos —con aportaciones esenciales de Dorothy Nickerson— en los que se tomaron más de 300.000 observaciones visuales para crear una especificación más precisa del sistema en cuanto a la medición instrumental del color. Sus resultados se publicaron en la década de 1940 con el título de *Munsell renotation*, que también es la definición actual de las muestras en *Munsell Book of Color*.

El sistema Munsell evolucionó a la vez que las técnicas de medición instrumental del color (el sistema de colorimetría CIE). Dichas técnicas mejoraron el sistema en lo que atañe a la especificación y producción de muestras Munsell modernas, y para la colorimetría instrumental fueron muy útiles los datos visuales sobre la graduación de los atributos del color (mediciones de la magnitud cuantitativa de nuestras percepciones) que proporciona el sistema Munsell.

El sistema informatizado más utilizado hoy para especificación y tolerancias del material de color es el espacio de color CIELAB, publicado originalmente por la CIE en 1976. En este sistema se utilizan tres dimensiones para describir la percepción del color de un objeto. Estas, en coordenadas rectangulares, son: L^* (luminosidad), a^* (calidad de rojo a verde) y b^* (calidad de amarillo a azul). Una representación alternativa del mismo espacio de color es el sistema de coordenadas cilíndricas formado por L^* (luminosidad), C^*_{ab} (saturación) y h_{ab} (ángulo de matiz), que se corresponde con las dimensiones del sistema Munsell.

El CIELAB ha cosechado éxitos durante sus 30 años de existencia, pero la ciencia del color no se ha quedado inmóvil. La investigación actual tiende a ampliar el modelo matemático CIELAB para predecir mejor la apariencia que tomarán estímulos e imágenes en condiciones de visión muy diversas. Los modelos matemáticos que

acometen esta compleja tarea se llaman modelos de apariencia de color, siendo el más reciente el CIECAM02 (modelo de apariencia de color CIE2002), aceptado internacionalmente. Lo mismo el sistema Munsell que otros sistemas de especificación ofrecen, dentro de espacios de color matemáticos propuestos, gráficos modernos informatizados, muy útiles para la formulación de estos nuevos modelos de medición de color.

La larga sombra de Munsell

En un principio Albert Munsell se propuso crear un sistema de color que le sirviera para mejorar la enseñanza a sus propios alumnos de arte, pero es evidente que tal sistema ha tenido notable repercusión en el arte y la ciencia del color. Se utilizan productos Munsell en muy diversas aplicaciones: calibración y caracterización de sistemas de imagen, evaluación de la visión del color para corregir defectos, clasificación de ciertas plagas y carencias de nutrientes en los vegetales, codificación de colores para hilos y cables eléctricos, colores normalizados para designar la calidad de aceitunas, tomates y otros comestibles, colores de seguridad establecidos por el Instituto Norteamericano de Pesos y Medidas (ANSI) y descripción de colores de piel, cabello y ojos en patología forense.

Hasta los lápices pastel tienen mucho que ver con la obra de Munsell. Sus colores están normalizados y controlados por medio de técnicas de medición semejantes a las aplicadas a los auto-

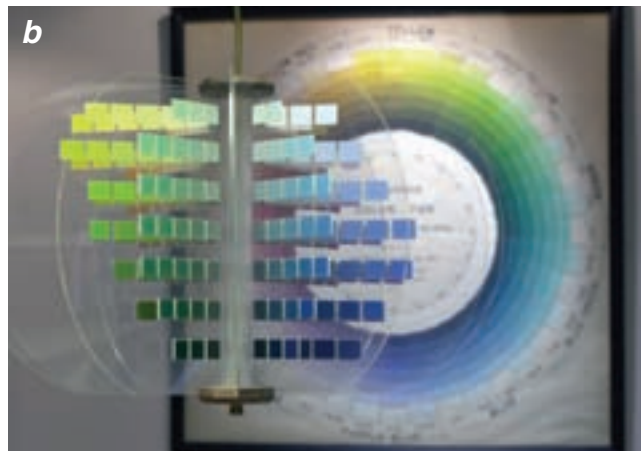
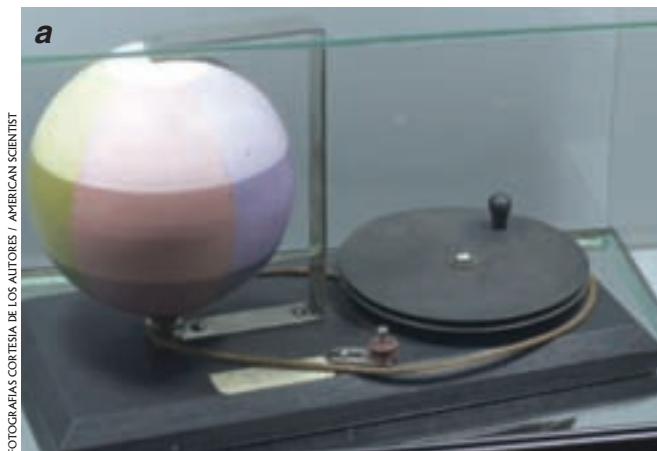
buses escolares. Por cierto, uno de los primeros productos de color fabricados por Munsell fue un juego de lápices marcado con los códigos de su sistema. Poco después, Munsell vendió su negocio de lápices a otra compañía, que hoy los comercializa con la marca Crayola.

Si la venta se hubiese dirigido a otro lado, los niños de Estados Unidos podrían ahora aprender de sus propios lápices una descripción del color sistemática y técnicamente precisa, como por ejemplo sucede en Suecia. El Sistema de Colores Naturales sueco (NCS) es un patrón nacional: el sistema de especificación del color se aprende desde la infancia y los productos comerciales (pinturas, por ejemplo) van designados por códigos numéricos de color rigurosos y que además apelan a la intuición.

Pese a la oportunidad fallida de popularizar el código Munsell, por todas partes hay ejemplos de productos que han utilizado sistemas de medición de color de algún tipo. En la fabricación de la cerveza el color se mide instrumentalmente desde hace casi cien años (y a simple vista, probablemente muchos siglos atrás). Se atribuye al cervecero Joseph Lovibond la creación de uno de los primeros instrumentos de medición del color, el tintómetro Lovibond, que todavía hoy existe en una versión. En este instrumento se compara una muestra de color —un tipo de cerveza— con una mezcla de filtros cian, magenta y amarillos. Las cantidades de tales fil-

6. LOS PRIMEROS MODELOS DE COLOR DE MUNSELL utilizaron globos (a) como base para obtener mezclas de colores por rotación, de manera que los cinco matices de igual valor y saturación aparecieran como un gris neutro cuando se hacía girar el globo. Una versión posterior fue el “árbol”: el valor se medía de abajo arriba sobre el “tronco”, y a cada matiz le

correspondía una “rama” en la que la saturación iba creciendo desde el centro al extremo (b). El abanico de color de Nickerson, detrás del árbol Munsell, presenta la saturación máxima para 40 matices a diferentes valores. Munsell publicó sus obras originales en 1905 y 1915, con muestras de color tomadas de sus propias observaciones visuales. Las ediciones siguientes (c) se



7. UNO DE LOS PRIMEROS

PRODUCTOS fabricados por Munsell fue una caja de lápices pastel que presentaba colores de un nivel medio en valor y saturación. Munsell vendió después el negocio de lápices a otra firma, que ahora los vende bajo la marca Crayola tras haber dado a los colores nombres que no reflejan el enfoque sistemático de Munsell.

tros normalizados requeridas para que los colores se igualen dan una medida del color de la muestra. Actualmente es posible convertir por medios informáticos los valores dados por el tintómetro a especificaciones de color CIE, y a la inversa, sin necesidad de evaluación visual.

Un ejemplo reciente del uso del sistema Munsell en la medición del color puede hallarse en los trabajos emprendidos por Roy S. Berns, del Instituto de Tecnología de Rochester, para el análisis fotométrico espectral y colorimétrico y la reproducción de valiosas obras de arte y otros tesoros culturales. Berns realizó comparaciones visuales de zonas pintadas del cuadro de Georges Seurat *A Sunday on La Grande Jatte, 1884* exhibido en el Instituto de Arte de Chicago con la Bandera tachonada de Estrellas que guarda el Museo Nacional de Historia Americana de la Fundación Smithsonian, bandera que inspiró a Francis Scott Key el poema que luego se convirtiera en el himno de los Estados Unidos.



FOTOGRAFÍA: BERNSON/ICHA. PARA: AUTORIZACION DE LA BIBLIOTECA, MUSEO HISTORICO DE SAN MARINO, CALIFORNIA; FOTOMONTAJE, CORTESIA DE LOS AUTORES / AMERICAN SCIENTIST

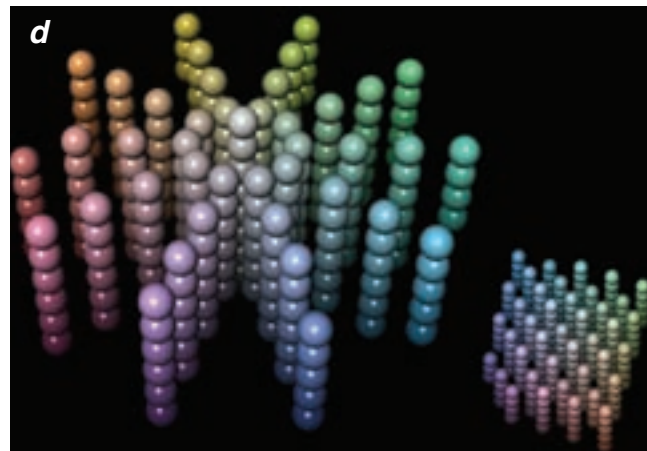
Dado el valor de ambas obras, no pueden medirse una y otra vez con instrumentos que toquen la superficie ni exponerlas a las intensidades de luz necesarias para mediciones sin contacto. Se utilizaron, pues, muestras de una edición moderna del *Munsell Book of Color* para cuantificar visualmente los colores de una y otra obra y comprobar las pocas mediciones instrumentales que se permitieron. Las especificaciones de color resultantes sirvieron para analizar los pigmentos del cuadro de Seurat y crear una imagen digital que representara la apariencia de aquellos colores cuando el cuadro se pintó originalmente. En cuanto a la Bandera de las Estrellas, que ahora se prepara para exposición

sobre un soporte de poliéster, las mediciones permitieron a la Smithsonian diseñar un nuevo montaje de exhibición de la bandera, mediante una simulación del aspecto que tendría una vez limpia e iluminada con diversos tipos de luz.

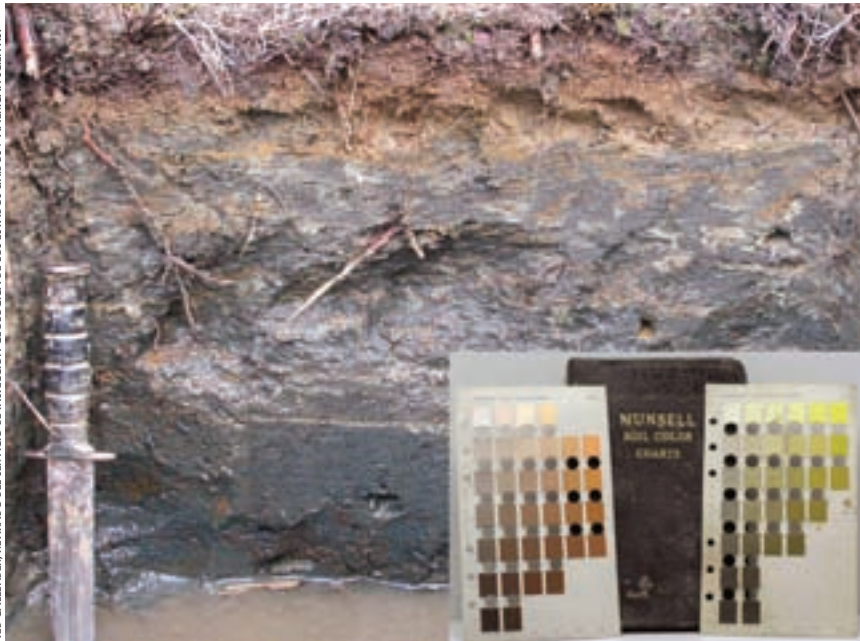
En estos principios del siglo XXI, la industria cinematográfica atraviesa una transición al cine digital. Transición técnica en la que también desempeña una función el centenario sistema Munsell. Los proyectores de cine digitales visualizan una gama enorme de colores, de saturación más intensa que los tradicionales en películas y producciones de televisión. Al utilizar los contenidos existentes en esta nueva presentación, se hace necesario cartografiar los colo-

apoyaron en experimentos más detallados y en ellas se definían las muestras de color de un modo más sistemático. En el decenio de los cuarenta la Sociedad Norteamericana de Optica emprendió otra revisión de las muestras de Munsell, creando la norma vigente. Las representaciones modernas de las muestras de Munsell (d) incluyen una versión informatizada del árbol de

Munsell, presentado aquí con un sistema de color más reciente: las escalas de color uniforme OSA, que describen los mismos colores de un modo matemático distinto. No trata por separado cada una de las tres dimensiones del color, como hacía Munsell, sino que ofrece igual separación de las percepciones en todas las dimensiones a la vez.



FOTOGRAFÍAS CORTESÍA DE LOS AUTORES / AMERICAN SCIENTIST



8. LAS CARTAS DE COLOR DE SUELOS de Munsell permiten el análisis visual de muestras tomadas sobre el terreno. En este lugar de Maryland, la matriz de la capa inferior saturada de agua es de color negro (designada 2,5Y 2,5/1 en cuanto a matiz valor/croma) debido a la presencia de pirita mineral. La zona aireada superior muestra franjas amarillo pálido (5Y 7/4) de jarosita, producto de oxidación de la pirita.

res desde su presentación histórica a la extensa gama de las nuevas visualizaciones. Uno de los objetivos de la cartografía es conservar el matiz aparente que tienen los colores de las imágenes. Las escalas de matiz de Munsell, unidas a datos más modernos sobre la percepción de matices, han servido para deducir espacios matemáticos de color que ahora se materializan en sistemas de cinematografía digital. Tales espacios son aplicables a la cartografía de la gama cromática, proceso por el cual los colores deseados de un objeto se cambian por colores que sea capaz de reproducir el aparato visualizador, respetando siempre la apariencia de las imágenes.

La descripción del color mediante la terminología de Munsell es una parte importante de la caracterización del perfil del terreno y la cartografía de los suelos, puesto que proporciona pruebas verificables de los procesos de formación del suelo. Por ejemplo, los cambios de color pueden indicar oxidación y reducción de los compuestos de hierro. Cuando una capa elevada de agua limita la penetración del oxígeno en un suelo desarrollado sobre un material originario que contiene mineral de hierro ferroso (pirita, FeS_2 , típicamente negra), ese mineral es estable y tiende a colorear el suelo en horizontes más

bajos, saturados de agua. Al reaccionar la pirita con el oxígeno de la atmósfera se produce ácido sulfúrico, junto con el mineral de hierro férrico, de color amarillo pálido, llamado jarosita [$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$]. Como resultado de este proceso de “sulfurización”, se puede ver a la vez un suelo de bajo pH y franjas de jarosita en la zona de oxidación por encima de la capa acuática. La presencia de jarosita de distintos colores se describe muy bien por medio de las Cartas de Color de Suelos de Munsell. Otras formas de hierro oxidado como el mineral rojo de óxido férrico, hematita (Fe_2O_3) y el mineral amarillo-marrón de oxihidróxido férrico, la goethita (FeOOH), aportan también colores peculiares. La jarosita, hematita y goethita, ya sean de origen sintético o natural, se utilizan como pigmentos en pintura.

La fascinación por el color es casi universal, y el estudio científico de la medición y percepción de los colores cuenta con una historia rica e interesante. Como en cualquier otra materia, las aportaciones han sido muy numerosas, y los científicos modernos pueden mirar más lejos alzándose sobre los hombros de gigantes que los han precedido. La ciencia del color es tal vez única en cuanto a la importancia de las contri-

buciones que pueden hacer los expertos desde una gama de disciplinas muy amplia. Albert Munsell es un ejemplo de ello: fue un artista y maestro que satisfizo su curiosidad y la necesidad de enseñar mediante el desarrollo de un sistema que tuvo una honda repercusión en la ciencia y el comercio del color y la mantendrá por largo tiempo en el futuro.

EDWARD R. LANDA es hidrólogo investigador en el Servicio de Inspección Geológica de los Estados Unidos en Reston, Virginia. **MARK D. FAIRCHILD** es profesor de ciencias del color y director del Laboratorio Munsell de Ciencias del Color en el Instituto de Tecnología de Rochester; es autor de *Color Appearance Models 2nd Ed*, que sirve como referencia a los fundamentos de la aparición del color y a la formulación de modelos específicos.

© American Scientist Magazine

Bibliografía complementaria

FINAL REPORT OF THE O.S.A. SUBCOMMITTEE ON THE SPACING OF THE MUNSELL COLORS. S. M. Newhall, D. Nickerson y D. B. Judd en *Journal of the Optical Society of America*, vol. 33, págs. 385-418; 1943.

A COLOR NOTATION: AN ILLUSTRATED SYSTEM DEFINING ALL COLORS AND THEIR RELATIONS BY MEASURED SCALES OF HUE, VALUE AND CHROMA (15.ª edición). A. H. Munsell. Munsell Color Co.; Baltimore, Maryland, 1946.

HISTORY OF THE MUNSELL COLOR SYSTEM, COMPANY, AND FOUNDATION. D. Nickerson en *Color Research and Application*, vol. 1, págs. 7-10; 1976.

HISTORY OF THE MUNSELL COLOR SYSTEM. D. Nickerson en *Color Research and Application*, vol. 1, págs. 121-130; 1976.

COLOUR APPEARANCE SYSTEMS. G. Derefeldt en *The Perception of Colour*, dirigido por P. Gouras. CRC Press; Boca Ratón, Florida, 1991.

BILLMEYER AND SALTZMAN'S PRINCIPLES OF COLOR TECHNOLOGY. R. S. Berns. 3ª edición. John Wiley & Sons; Nueva York, 2000.

THE NEW MUNSELL STUDENT COLOR SET. J. Long, y J. T. Luke. Fairchild Books; Nueva York, 2001.

THE EARLY DEVELOPMENT OF THE MUNSELL SYSTEM. R. G. Kuehni en *Color Research and Application*, vol. 27, págs. 20-27; 2002.

COLOR SPACE AND ITS DIVISIONS: COLOR ORDER FROM ANTIQUITY TO THE PRESENT. R. G. Kuehni. Wiley; Hoboken, Nueva Jersey, 2003.

COLOR APPEARANCE MODELS. M. D. Fairchild, 2ª edición. Wiley-Interscience; Chichester, 2005.