

Digitalización

Kepha Borde *

En la actualidad es inevitable manejar medios de digitalización de imagen, como por ejemplo una cámara fotográfica. Sin embargo es habitual no tener claras una serie de nociones claves en estos procesos digitales. El artículo parte de nociones básicas de fotografía para llegar a ofrecer un entendimiento de los medios y conceptos que se emplean en la fotografía digital.

Palabras clave: Digitalización. Sensor digital. Profundidad de color. Escáner. Histograma.

DIGITALIZATION

Currently, the use of image digitalization tools, namely a photo camera, is unavoidable. However, it is usual that some key concepts with regard to these digital processes are still unclear. The article begins with some basic knowledge of photography to reach a good understanding of tools and concepts used in digital photography.

Keywords: Digitalization, digital sensor, color depth, scanner, Histogram.

El primer método fotográfico comercial surge en el año 1839, y supone una nueva forma de entender el mundo, que cristalizará en 1851 cuando unos desarrollos técnicos permiten fotografiarlo por entero: todo el arte, toda la arquitectura, y todos los paisajes lejanos dejan de ser imaginarios para reflejarse en una hoja de papel. Con el cambio de siglo, un nuevo desarrollo técnico permite que nos fotografiemos a nosotros mismos, nuestro mundo íntimo y nuestras costumbres, y un poco más tarde lo hacemos en color. El presente, la era digital, ha supuesto que la imagen deje de estar en papel, que deje de ser el papel el que viaja de un lugar a otro portando el conocimiento, y que además se pueda reproducir cada imagen, instantáneamente, en cualquier punto del planeta, la cantidad de veces que se desee. Esto ha llevado a que en la actualidad todas las instituciones estén digitalizando el conocimiento que hemos acumulado.

La digitalización: una cuestión fotográfica

Crear una imagen digital, ya sea desde otra imagen o de un objeto tridimensional, es una labor sencilla y metódica, en la que, conocidos unos parámetros (que se detallan a continuación), tomamos unas pocas decisiones sobre la tecnología que emplearemos y el uso final que vamos a dar a las imágenes generadas.

En este artículo se explica todo ello con la intención de entender cómo funciona el proceso en su conjunto, aunque sin entrar en los detalles físicos, químicos o matemáticos que son la base del sistema, ni pretender sustituir al manual de instrucciones de su escáner o cámara digital.

* Licenciado en Bellas Artes.
Profesor de la E.S.C.R.B.C.
de Madrid.

✉ kephaborde@hotmail.com

Recibido: 18/4/2008
Aceptado: 26/5/2008

El concepto general

Supongamos una fotografía en soporte papel. Digitalizar esa imagen consiste en dividirla en partes iguales de superficie cuadrada, cada una de las cuales llamamos «píxel» (del inglés «picture element»), alineadas en filas y columnas, y determinar sus colores. Eso es todo (Fig. 1).

Por tanto, los parámetros que aquí se manejan son tres: cómo se capta la información de color de cada píxel (labor que realiza un artefacto electrónico), cómo se definen esos colores (decisión que tomamos en función de las capacidades tecnológicas de cada momento, basándonos en los sistemas de color definidos internacionalmente), y qué se puede hacer con la imagen resultante (que no es sino guardarla de modo digital, es decir, como información escrita en un lenguaje llamado «binario», e imprimirla, o visualizarla en una pantalla).

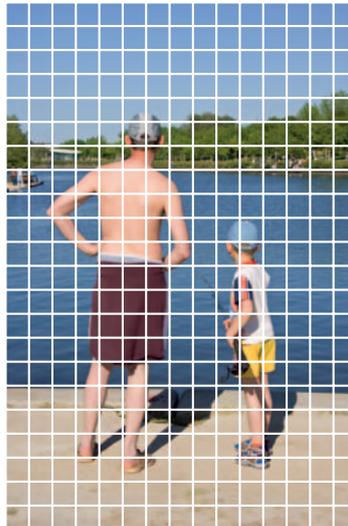


Fig. 1. Digitalizar una imagen es convertirla en píxeles

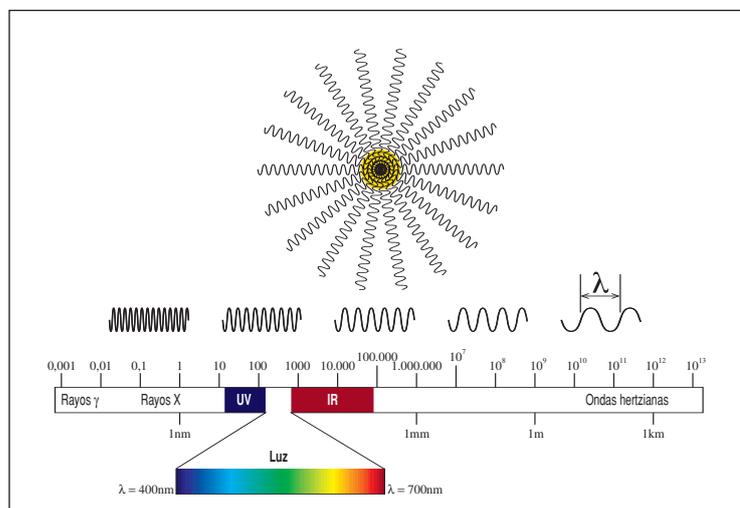
Luz y captadores de imagen

Todos sabemos que existen distintos materiales que son sensibles a la luz, esto es, a un tipo de energía que llamamos «radiación electromagnética de la luz visible», que es una energía de características semejantes a otras con las que convivimos habitualmente y que llamamos «rayos cósmicos», «rayos gamma», «rayos X», «radiación ultravioleta», «infrarrojos», «microondas», u «ondas de radio y televisión», etc. Todas ellas caracterizadas físicamente por su naturaleza eléctrica y magnética, y diferenciadas unas de otras por las longitudes de onda con que se desplazan las partículas que irradian y que llamamos «cuantos» (los cuantos de luz reciben el nombre de «fotones»): son partículas que se desplazan en todas direcciones desde la fuente, en línea recta, trazando un movimiento ondulatorio (la partícula avanza oscilando). Podremos diferenciar las energías cuyas frecuencias (es decir, cuyas distancias entre que empieza a trazarse una onda y que ésta acaba y comienza la siguiente de igual longitud), son distintas: más altas (longitudes de onda más cortas) o más bajas (longitudes de onda más largas), y por tanto más o menos «energéticas». De tal a cual longitud de onda se llama infrarrojo, de ésta a aquella otra rayos X, etc. En el caso de la luz visible, distinguimos además las longitudes de onda que llamamos «azul», «verde» y «roja», siendo la radiación azul de menor longitud de onda y por tanto más energética que la roja (Fig. 2).

Algunas de estas energías están y se producen en la naturaleza, y otras pueden producirse de modo artificial, pero para todas ellas se han encontrado sustancias sensibles, capaces de alterar sus características cuando en ellas incide dicha energía (si no fuera así, no sabríamos de su existencia). Además, y esto es lo importante, podemos determinar y conservar los resultados de esas alteraciones.

Todas las sustancias, cuando les llega una radiación de naturaleza electromagnética, la ab-

Fig. 2. Las partículas de energía luminica (fotones) viajan oscilando a partir de una fuente en todas direcciones del espacio, en línea recta, en un campo eléctrico y otro magnético. Diferentes longitudes de onda determinan distintas propiedades (c.p.e. la sensación psicofisiológica del «color»).



¹ El modo como funciona la visión humana es muy complejo, y todavía esta en estudio. A pesar de ello, el modelo de Thomas Young es cercano a la realidad y sobre todo práctico como punto de referencia.

sorben, la reflejan o la transmiten. Llamamos sustancias sensibles a la luz a aquéllas que absorben esta energía electromagnética y la transforman en otra, de igual o distinta naturaleza, cuyas consecuencias podemos determinar.

Así, los haluros de plata que componen las películas fotográficas en blanco y negro usuales al final del siglo pasado, eran sensibles a parte de la radiación de energía electromagnética que llamamos «ultravioleta», a la radiación inmediatamente contigua que llamamos «luz visible», a la que también son sensibles nuestros ojos, y hasta una pequeña porción que distinguimos dentro de la que llamamos «infrarrojos», transformando su estructura molecular de modo proporcional a la cantidad de energía luminosa que en ellas incidía. Mediante un sencillo procesado químico, intensificamos estos cambios y los hacemos visibles a nuestros ojos, además de fijarlos de modo inalterable para poderlos conservar. Finalmente, esta imagen la podemos reproducir a distintos tamaños sobre una superficie de papel, o podemos proyectarla sobre una pared, dejando pasar luz a través de ella.

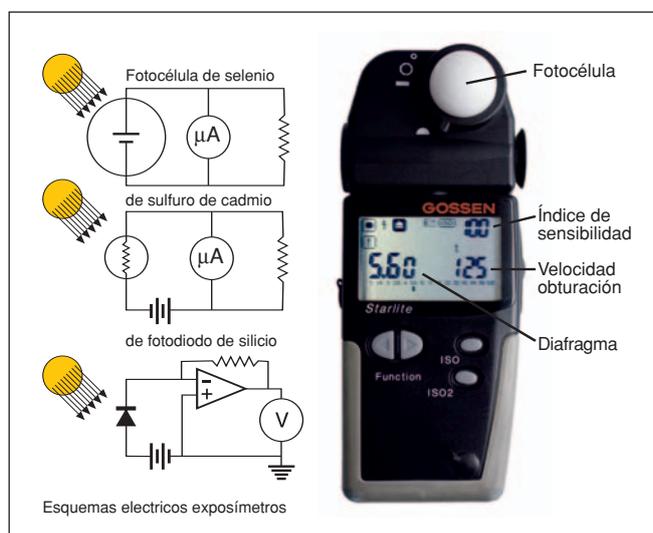
De modo análogo, atendiendo a la teoría de Thomas Young sobre la síntesis tricolor de la visión, la retina del ojo posee tres tipos de células, capaces de emitir una señal electroquímica al cerebro si son excitadas por las longitudes de onda de la radiación electromagnética de la «luz visible», que distinguimos con los nombres «rojo», «verde» o «azul», e incluso en condiciones de poca intensidad lumínica, dispone de otras células que no distinguen estos matices pero si la presencia de «luz visible».¹

Desde hace varias décadas se han descubierto determinadas sustancias que, cuando en ellas incide una determinada cantidad de fotones, generan una cantidad de electrones de modo proporcional. En principio fueron utilizadas para hacer fotorreceptores y medidores de la cantidad de luz presente, incorporándoles un artilugio que informara de la cantidad de electrones generados por la luz (es decir, la intensidad de la corriente eléctrica generada por la célula se hacía pasar por una bobina que constituía un electroimán, el cual atrae más o menos una aguja. Este instrumento se llama galvanómetro). Como la señal eléctrica generada por estas células llamadas fotovoltáicas de selenio era muy débil, se hicieron células de mayor superficie, por lo que en ellas incidían más fotones, generándose más electrones. Posteriormente se intercaló una fuente eléctrica, una pila, para determinar las variaciones habidas en el circuito por causa de la incidencia de fotones sobre una célula de sulfuro de cadmio que con la acción de la luz actuaba como una resistencia, limitando el flujo de la corriente eléctrica. Finalmente se utilizan los modernos y muy sensibles fotodiodos o células fotovoltaicas de silicio, que son un diodo semiconductor en el que los rayos luminosos provocan cargas eléctricas proporcionales. Como las cargas que generan son

muy débiles, se incorpora un amplificador de señal alimentado con una pila, que las convierte en microvoltajes de modo similar a lo que hace el amplificador de un equipo de música. La antigua aguja del galvanómetro, que hoy en día es una pantalla digital, iba marcando una escala dibujada que representa distintas intensidades, distintas cantidades de luz. Así son los «luxómetros», y cambiándoles las escalas por otras relativas a la exposición, a la cantidad de luz que debe incidir en el material sensible para producir una cantidad de efecto determinado, los «exposímetros» tan usados en la práctica fotográfica (Fig. 3).

El descubrimiento de nuevas tecnologías capaces de reducir el tamaño de los componentes electrónicos, nos lleva a poder realizar una matriz ordenada en filas y columnas, de varios millones de fotosensores, donde antes sólo hubo una única célula fotosensible. Estos

Fig. 3. Exposímetro digital: una célula fotosensible informa de la cantidad de luz incidente (y propone un valor de exposición para realizar la fotografía).



son los sensores digitales de luz de nuestras cámaras fotográficas o escáneres (aunque en el caso del escáner, se trata de tres filas de sensores que irán recorriendo la superficie a escanear).

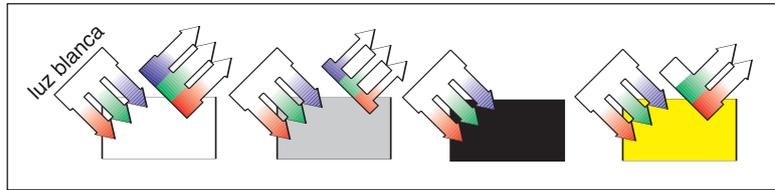


Fig. 4. Los colores: luz reflejada o absorbida.

Unas nociones de fotografía

Como decíamos antes, de la llamada «luz visible», o simplemente «luz», distinguimos fisiológicamente, mediante células específicas, las radiaciones «roja», «verde» y «azul», y de la síntesis de éstas podemos enunciar el resto de los «colores». Además, si un objeto refleja toda la luz visible, decimos que es blanco; si la absorbe toda, lo llamamos «negro»; si refleja proporciones iguales de la radiación roja, la verde y la azul, determinamos un valor de «gris»; y por último, si refleja proporciones desiguales de rojo, verde y azul, determinamos un «color», un tono concreto (Fig. 4).

Estos rayos de luz que son emitidos desde una fuente llegan a los objetos, y si no son totalmente absorbidos, se transmiten o reflejan en ellos. Podemos considerar cada punto del objeto que refleja o transmite luz como una fuente puntual que emite rayos de luz a partir de su superficie.

Una cámara fotográfica consiste en un aparato tecnológico de reproducción, que recoge una información discreta de la luz reflejada (o transmitida o emitida) por cada punto de una superficie, sobre otra superficie que se encuentra en el interior de una cámara oscura, y que está uniformemente sensibilizada a esta energía en toda su área.

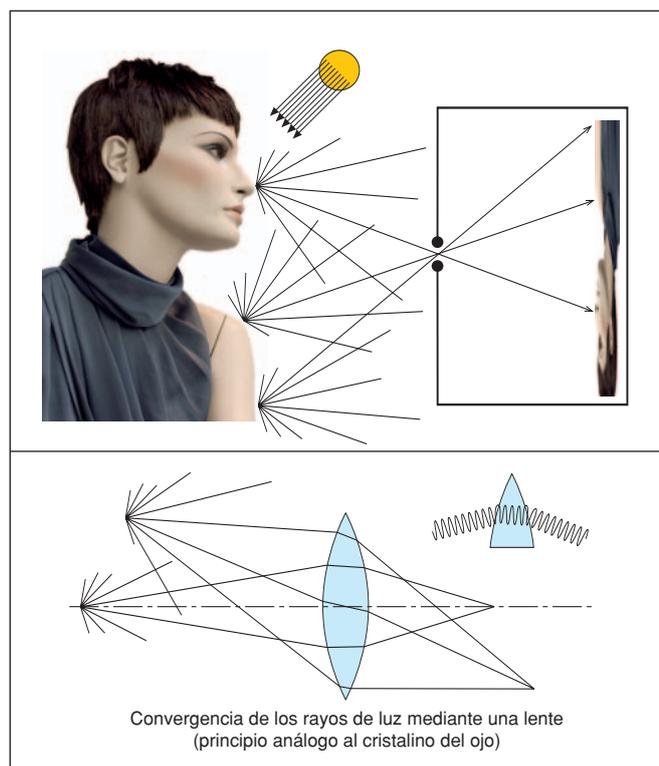
Para no confundirnos, a partir de ahora llamaremos «objeto» a la realidad que queremos fotografiar o escanear, es decir, digitalizar, ya sea tridimensional o bidimensional, e «imagen» al resultado que obtenemos.

Para que la luz emitida o reflejada por un punto de un objeto, y por tanto con una intensidad determinada, no se mezcle con la luz emitida o reflejada por el punto inmediatamente contiguo de esa misma superficie (y con ello dejemos de tener la información diferenciada de la cantidad de luz de cada punto de ese objeto), se interpone entre las dos superficies, real y fotosensible, otro artilugio que aísla los rayos. Basta un minúsculo orificio, llamado «estenopo», para aislar los rayos de luz (Fig. 5).

Como este sistema limita mucho la cantidad de rayos de luz que llega a la superficie receptora desde cada punto de la superficie original, además de otros problemas que no detallamos, se idea una lente (o conjunto equivalente de ellas que llamamos objetivo), cuya principal función es la de recoger parte del haz de fotones irradiados desde cada punto del objeto (el conjunto de rayos que llega a la superficie de la lente) y convergerlos, focalizarlos al otro lado de la lente, en un único punto sobre la superficie fotosensible. Con ello se consigue que la cantidad de energía que llega a cada punto de la placa fotosensible sea mucho mayor: llegan muchos más fotones.

El mecanismo por el que los rayos de luz que divergen desde un punto, convergen al otro lado de la lente (que es

Fig. 5. Cámara estenopeica: a cada punto de la superficie fotosensible llega poca luz, pero es proporcional a la cantidad de luz que refleja cada punto del objeto.



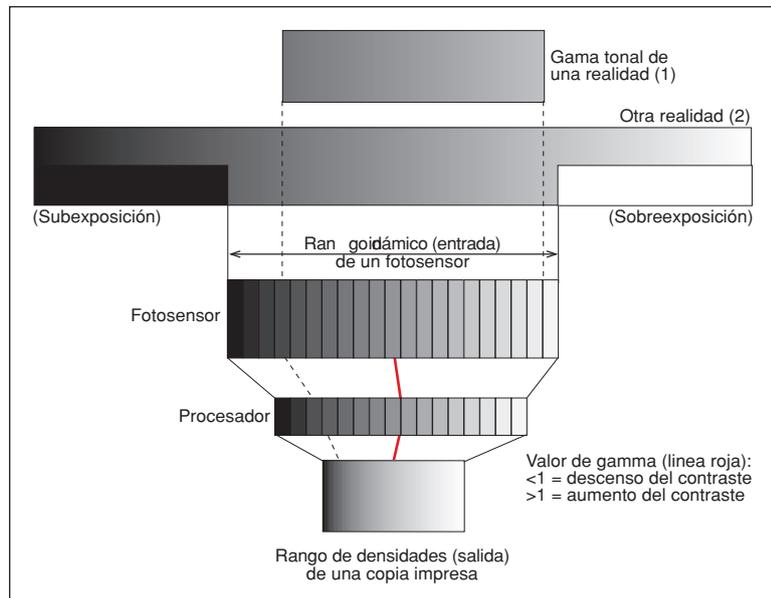


Fig. 6. Ejemplo simulado de una compresión de la gama tonal: los fotosensores reaccionan a partir de cierta cantidad de fotones, y se saturan a partir de otra. La señal (y luego la copia en papel o pantalla) es o no es proporcional a la realidad, según cómo sea ésta y cómo se procese

diaphragma y un obturador, una abertura de diámetro variable que deja pasar un haz de fotones más o menos amplio, a través de una pantalla que se abre durante un tiempo determinado.

¿Cuánta luz debe pasar a la superficie fotorreceptora? La suficiente como para que empiece a reaccionar, pero sin exceder el punto en el que se satura.

Esto nos lleva a uno de los problemas de la fotografía: la exposición de la superficie fotosensible. Distintos materiales fotosensibles o composiciones químicas o físicas reaccionan de manera también distinta a la luz: de modo más o menos sensible, y de forma más o menos proporcional a la intensidad de la luz incidente. Es decir, hay materiales o compuestos que necesitan mucha menos luz que otros para producir un efecto parecido (aunque la forma más sencilla de aumentar la sensibilidad sigue siendo aumentar el tamaño de la superficie fotorreceptora). Además, este efecto puede ser igualmente proporcional a la luz incidente, o mayor cuanto más luz (lo que da imágenes más contrastadas que la realidad), o menor (con resultado de un menor contraste en la imagen resultante). A más, no sólo hace falta una cantidad de luz mínima para que la superficie comience a reaccionar, sino que llega un momento en el que ésta se satura, a partir del cual la señal resultante es la misma, el sistema no tiene capacidad de producir más señal. Dependiendo del material sensible y principalmente de su tamaño, la saturación puede llegar con una cantidad de luz más o menos cercana a la inicial (se conoce como gama o «rango» dinámico (DR), o cociente que resulta de dividir el nivel de saturación del fotosensor por el umbral bajo el cual no capta señal. Haciendo referencia a la densidad (cantidad de luz que refleja o transmite una superficie) que puede tener una copia en papel o una película fotográfica, los escáneres suelen reflejar este parámetro de rango tonal como «densidad máxima» o D_{max} que son capaces de detectar, con valores entre 0 y 5. Como referencia, el rango dinámico de una copia fotográfica en papel es de 2,2, y el de una película podría llegar hasta 4: si nuestro escáner tiene un D_{max} de 3, podrá capturar las tonalidades de la fotografía de papel, pero no captará matices que pudiera tener la película² (Fig. 6).

² La gama dinámica o contraste de luminancias que podemos captar de una escena, se suele referir en la literatura de muy distintos modos con valores equivalentes. Se puede expresar como valores de exposición (VE), muy usuales en el argot fotográfico, al igual que los pasos de diafragma (cada diafragma dobla o divide por la mitad la cantidad de luz que deja pasar hasta el material fotosensible a través de su abertura), como índices de contraste ($x : 1$), índices de densidad (logaritmo en base diez de la opacidad), como número de bits que describen esos valores posibles (n bits; mediante la traslación a potencias de dos, logaritmo en base dos), o mediante relaciones de señal ruido (RSR; medido en decibelios: cada 6 db se dobla la señal). Todo ello crea bastante confusión, si no fuera porque en cada campo de aplicación de este concepto se suele utilizar preferentemente uno o dos de estos valores, todos ellos relacionados entre sí.

Resumiendo, la capacidad de un material fotorreceptor para recoger el contraste tonal de una realidad es limitada (puede ser mayor o menor que una realidad determinada), y además, no suele ser igualmente proporcional a ésta (puede ser más o menos contrastada).

De este punto deducimos que para poder digitalizar todos los matices de un objeto, hemos de iluminarlo con una cantidad de luz tal que no sature las posibilidades del sensor, es decir, que la luz reflejada por ese objeto no sea más contrastada que la gama dinámica del sensor.

Continuemos con el problema ¿cuánta luz y durante cuánto tiempo ha de llegar ésta al sensor digital, para reproducir los matices de un objeto con la diferenciación lumínica que éstos tienen?

Para resolverlo se utilizan unos aparatos que ya hemos explicado y que se llaman «exposímetros» (o equivocadamente «fotómetros»). Los exposímetros tienen en cuenta unos estudios antiguos que determinaban que un objeto promedio refleja aproximadamente el 18% de la luz que incide sobre él, y que una superficie gris que tenga más o menos esa reflexión es la que psicológicamente nos parece un punto intermedio entre el blanco y el negro (y no así la que refleja un 50%), con lo que la propuesta que hacen es determinar un diafragma mayor o menor y un tiempo de obturación concreto, el necesario para recoger esa información de luminosidad .

Por tanto, si midiéramos la luz que refleja la nieve, el fotómetro propondrá unos valores que permitan que lleguen a la matriz fotosensora la cantidad de fotones necesarios para reproducir una hipotética superficie gris que reflejara el 18% de la luz incidente, como si fuera un objeto de reflectancia media, como ocurre, por ejemplo, al fotografiar la hierba. De igual modo ocurre si medimos la luz reflejada por un objeto tan absorbente como el terciopelo negro. Esto lo podríamos solucionar con la postproducción, es decir, en el ordenador: las tres imágenes resultantes, igual de grises, podríamos aclararlas u oscurecerlas sabiendo que son nieve o terciopelo negro, o dejarla como está en el caso de la hierba. Pero el problema está en que el resto de tonos de la escena se construyen a partir de aquí, con lo que en la fotografía de la nieve, los pinos o cualquier elemento más oscuro que aparezca en la imagen quedarían negros, sin los matices y gradaciones que les corresponden, ya que los fotones que reflejaban incidieron en tan poca cantidad en el fotosensor que no produjeron una carga de electrones detectables. Hay varias formas de resolver este problema como veremos dentro de poco (Fig. 7).

De todo lo anterior nos debe quedar una cosa clara: la fotografía representa a la realidad, pero no la reproduce. Lo que podemos hacer, especialmente en la era digital, es aproximarnos mucho a obtener los valores de la realidad, mediante el hardware (las máquinas), que son mucho más precisas que las películas, pero también el software (los programas que gestionan los datos capturados). Para paliar este problema, que se agravará cuando reproduzcamos esas imágenes, cuando se digitaliza una imagen o un objeto, se puede escanear o fotografiar bajo las mismas condiciones de luz y con las mismas máquinas, una carta estandarizada de colores con una cuña de grises. Esto sirve de referente a un programa informático para determinar las variaciones que produce el instrumento de captura de datos, y establecer equivalencias de cara a lograr una información más cercana a los tonos del objeto real (Fig. 8).

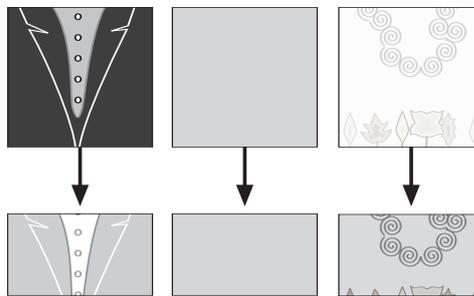
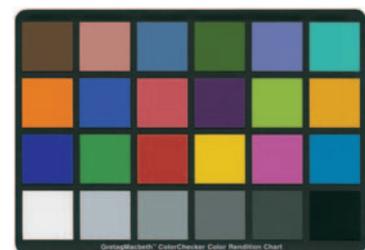
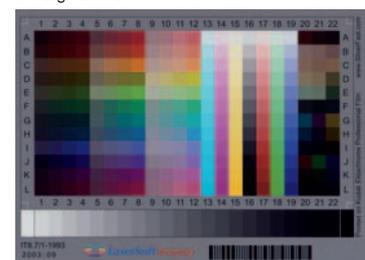


Fig. 7. El exposímetro no considera las distintas reflectancias: todo ha de reproducirse como si reflejara el 18% de la luz que le llega.

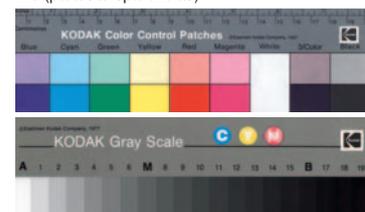
Figura 8. Cartas para crear perfiles: cada parche de color está definido de forma numérica en distintos sistemas de color. Las escalas de grises permiten comprobar el rango dinámico del sensor y también ajustar el valor de exposición. Nótese que si está impreso está por debajo de las diferencias de luminosidad que el sensor es capaz de detectar: si la iluminación es uniforme, cubrirán de izquierda a derecha 5 niveles (columnas) de un histograma.



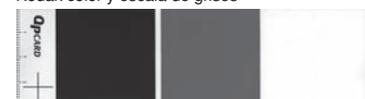
GretagMacbeth



IT8 (para transparencias)

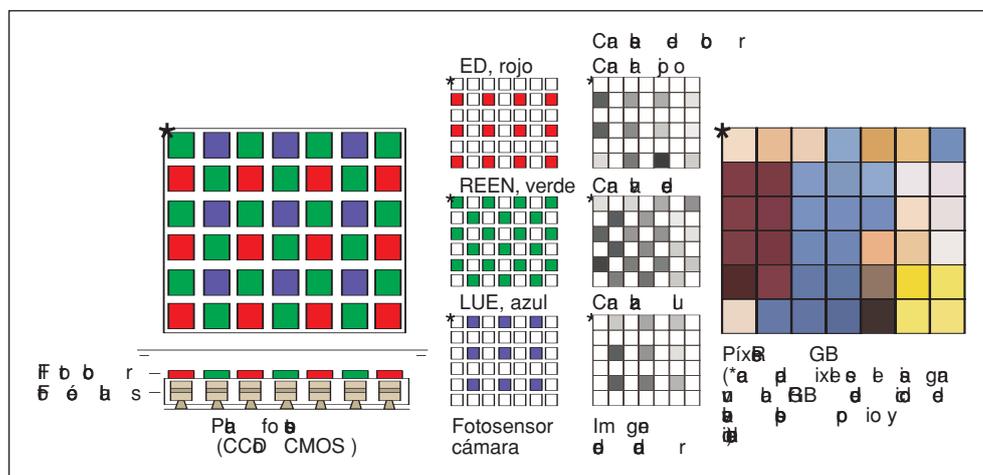


Kodak color y escala de grises



Qpcard: para calcular el valor de exposición (EV) y el balance de blancos (WB)

Fig. 9. Fotosensor digital con filtro de color primario Bayer: las fotocélulas miden cantidad de fotones, y no su color. Los valores de luminosidad medidos se sustituyen por intensidades de rojo, verde y azul en la pantalla del ordenador



El sensor digital

Existen varias tecnologías en el mercado que difieren en su esquema de construcción con ligeras ventajas e inconvenientes cada una : CCD (dispositivo de carga acoplada), CMOS-APS (semiconductor de óxido de metal complementario - sensor de píxeles activos), y variantes tan diferentes como el FUJI SUPER CCD o el CMOS FOVEON FX3, habiendo además diversas generaciones de cada una de ellas.

En esencia cada célula sensora o «fotositio», es un fotodiodo que se carga de electrones, de modo proporcional al número de fotones que inciden en él. Esta señal es muy débil y necesita ser amplificada para ser un voltaje reconocible por un convertidor analógico digital, que transforma esa señal eléctrica continua en números expresados en lenguaje binario: cada microvoltaje o un rango de ellos se equipara a un número específico, tras el cual es procesado por un microprocesador (que como mínimo «corrige» ciertos defectos o características indeseables del sistema fotosensor) y escrito en una tarjeta de memoria³.

En todo caso, las células fotosensoras son ciegas al color: sólo determinan la cantidad de fotones que llegan a ellas (a más fotones más electrones). Para poder reproducir el color de cada punto de la superficie del objeto que queremos fotografiar, debemos informarnos de qué cantidad de radiación roja, verde, y azul, emite, refleja o transmite ésta: simplemente se antepone un filtro rojo, otro verde, y otro azul a tres células fotosensibles. Estas tres células, diminutas y cercanas entre sí, captarán la información que necesitamos para poder reproducir un punto o «píxel» de color. Un programa informático podrá traducir esa información sistematizada como color «RGB» (cantidad de «Red», rojo, «Green», verde, y «Blue», azul que refleja, emite o transmite un punto de un objeto), a otros sistemas de representación de color como por ejemplo el sistema de color «CMYK» («Cyan», cian; «Magenta»; «Yellow», amarillo; y «black», negro) utilizado por algunas máquinas de impresión (Fig. 9).

³ Para lo que aquí nos ocupa basta saber que la tecnología CCD (charge coupled device) al procesar la señal eléctrica fuera de la placa que contiene la matriz de fotocélulas, éstas pueden ser de mayor tamaño (por tanto, al tener mayor superficie, inciden más fotones en cada sensor, que a su vez tiene más posibilidad de albergar más electrones, y por tanto se podrá distinguir con mayor precisión más niveles de carga) que en los sensores CMOS (complementary metal oxide semiconductor) que procesan la señal mediante amplificadores dispuestos en la misma placa sensora, uno por cada célula, dejando menos sitio a éstas que, por tanto, son más pequeñas (para lograr que recojan la luz que incide en un área mayor que el de la célula, en las últimas generaciones de sensores CMOS se incluyen delante de cada célula una micro lente convexa que refracta la luz hacia ella). Por otro lado, la tecnología CCD, más cara de producir, requiere tener cargados los sensores, por lo que entre otras cosas consume más energía. Podríamos seguir citando ventajas e inconvenientes de estas tecnologías, pero no iríamos a ningún lado con ello. Actualmente podemos considerar que todos ellos son productos experimentales.

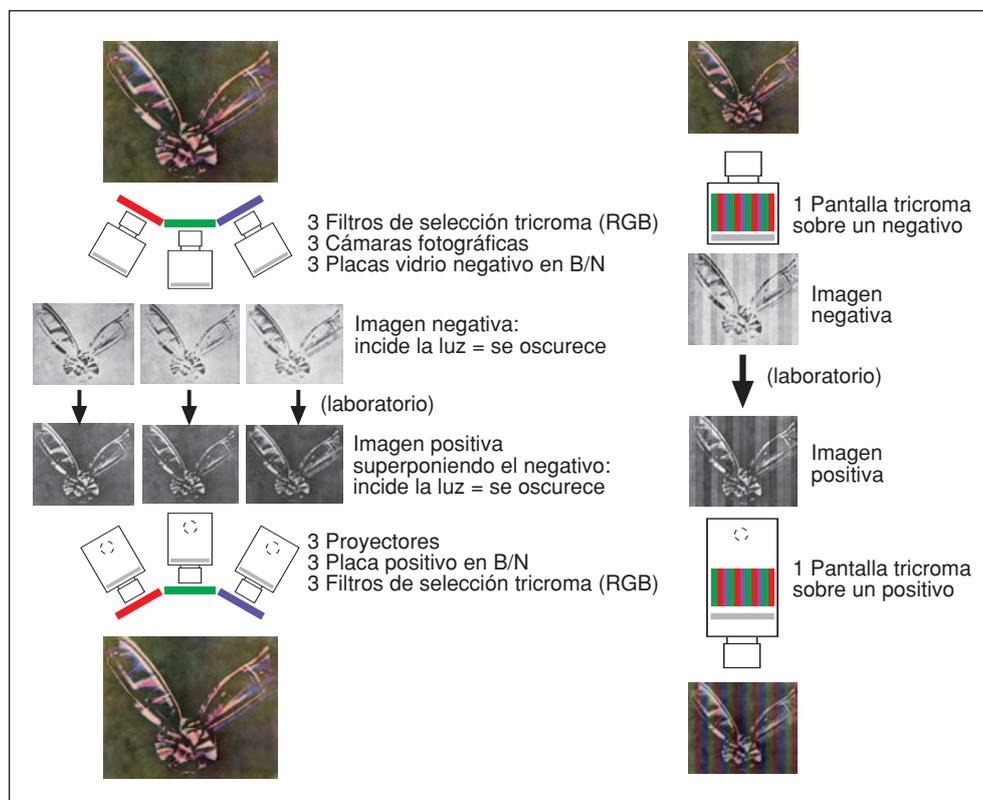


Fig. 10. El color en el siglo XIX: primer sistema y sistema simplificado de fin s. XIX.

El hecho de descomponer la información de color de cada punto de un objeto en sus componentes roja, verde y azul, durante el proceso de captación de la imagen, para después recomponerlo en otro proceso distinto, el de la reproducción de esa imagen, proyectando luz roja, verde y azul, de modo proporcional a la información captada, sobre un único punto de una pantalla (o sobre tres tan cercanos entre sí que no logramos distinguirlos como ocurre con un televisor o una pantalla plana LCD), fue un logro conseguido en la segunda mitad del siglo diecinueve, que conocemos como síntesis aditiva del color luz. En su día utilizaron distintas películas de haluros de plata, sensibles a las tres radiaciones, a las que les antepusieron filtros (más o menos) rojos, verdes y azules. Se usaron dos sistemas: o bien realizaban tres fotografías distintas de un mismo motivo, cada una con su filtro R, G o B, o como hacemos hoy en día, a una sola placa fotosensible se le antepusieron una trama de transmisión selectiva que hoy llamamos «filtro de color primario» (mediante tintes RGB se dibujaban líneas R, G o B sobre un vidrio), u otros sistemas basados en el mismo concepto de filtros de selección tricroma. Entrado el siglo veinte, se superpusieron tres superficies selectivamente sensibles y transparentes a la radiación azul, verde y roja respectivamente, de modo análogo a la tecnología FOVEON X3 (Fig. 10).

Por tanto, lo único que cambia en el siglo veintiuno es el material sensible a la luz (que es un semiconductor de silicio), y cómo reacciona éste a la luz (generando electrones), así como el modo como guardamos este registro, que ya no es una placa de vidrio o un papel donde se ha formado una cantidad mayor o menor de un metal (lo que supone una mayor o menor densidad, una mayor o menor opacidad), sino que directamente se escribe el valor de cada punto que forma la imagen mediante un texto, expresado con un alfabeto de dos elementos (0 y 1), combinados siguiendo un código determinado, un lenguaje llamado «código binario».

Un último dato sobre este apartado: en una cámara fotográfica, mediante tres células continuas se capta la cantidad de rojo, verde y azul, R-G-B, de tres puntos adyacentes de un objeto,

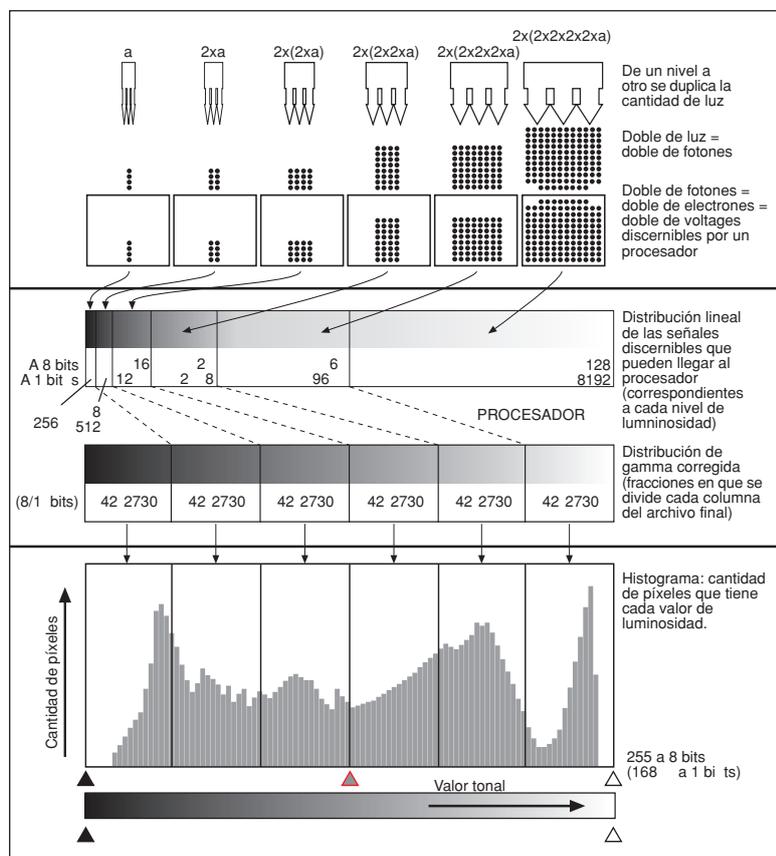


Fig. 11. El histograma (supongamos la relación 1 fotón= 1 electrón= 1 nivel de señal). Representación de un histograma de seis valores: pasar de una columna a otra significa doblar la cantidad de luz (por este motivo se suele hablar en términos de diafragma: de uno a otro se dobla la cantidad de luz que puede atravesar su abertura. En el ejemplo, se representan 6 diafragmas). Con 8bits podemos definir: $2^8= 256= 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2$ valores o niveles de señal (desde los valores 0= señal insuficiente, negro; hasta 255= saturación de señal, blanco). Con 16 bits: $2^{16}= 4096$ valores.

fotocélula no reacciona, pero a partir de ahí, y de modo proporcional, comienza a generar una carga eléctrica: a más fotones incidentes, más electrones generados. A partir de una cierta cantidad, la fotocélula se satura, no caben más electrones, siendo su señal eléctrica la misma aunque aumentemos la luz incidente (esto además provoca un problema de desbordamiento de electrones hacia las células contiguas, dando señales falsas para esos píxeles). Como decíamos antes, esta señal es muy débil y se amplifica para obtener un voltaje que se pueda medir con precisión.

En todo caso, se trata de una señal continua, que aumenta de electrón en electrón. Este voltaje se divide en un número de partes y a cada una de ellas se le asigna un valor, un número (Fig. 11).

En cuántas partes dividirlo es una cuestión que atañe a la sensibilidad de los aparatos electrónicos que intervienen en esta conversión de la señal analógica en numeración digital, y a la informática misma.

Como es sabido, un ordenador puede tratar todo aquello que pueda ser descrito. Nosotros podemos definir una imagen en la superficie de un papel como si de un mosaico bizantino se tratara, aunque ordenando las teselas, todas cuadradas y de igual dimensión, en filas y columnas. Además, podemos nombrar una serie de colores mediante nombres o números, y asignarle a cada tesela un nombre o un número. Si éstos más o menos coinciden con los colores que refleja un objeto real, por ejemplo con los de un gladiador luchando contra un tigre, tenemos

es decir, no captamos la cantidad de R-G-B que emite o refleja o transmite un único punto de un objeto (excepto en el sensor Foveon X3 que no acaba de estar desarrollado para su comercialización como lo están el resto de sistemas). Como nuestros ojos son más sensibles a la luminosidad que al color, y además tienen una resolución limitada (también funcionan mediante células fotosensibles, unas cercanas a otras, aunque en este caso sin formar filas ni columnas), un programa de gestión de datos recompina estos valores captados por separado, para otorgar a cada píxel una cantidad RGB (en este sentido, un píxel equivale a una célula sensora, y por tanto, una matriz de 3000 x 2000 células diremos que equivale a 6 millones de píxeles, cada uno de los cuales es una información de la cantidad de rojo, verde y azul que reflejaba o emitía un punto de un objeto, aunque en realidad 1,5 millones de células han captado el rojo, 1,5 el azul, y 3 el verde, siguiendo la matriz de filtros de selección tricroma de Bayer que es la más utilizada)⁴.

Los datos medidos: profundidad de color

Hay una cantidad de luz por debajo de la cual la

⁴ En el caso del escáner, al estar el sensor de imagen constituido por tres filas de células fotosensibles cada una de las cuales tiene un filtro rojo, verde o azul, el aparato tiene la posibilidad de medir en un mismo punto (más o menos amplio) de un objeto la cantidad de color R/V/A que refleja o transmite, mediante el desplazamiento del sistema por ese punto.

una imagen pictórica de una realidad tridimensional. Si la numeración se obtiene respecto de la realidad de modo mecánico, fotoquímico o fotoeléctrico, tenemos una imagen fotográfica.

Lo que caracteriza el «idioma» informático es que usa el alfabeto más corto posible: 0 y 1, dos únicos dígitos o estados de la materia⁵.

Con este alfabeto, para poder definir dos colores, nos basta una sola posición: el color es 0 o es 1, y esto tendrá su equivalente en la realidad (podemos asignarle al cero la realidad «blanco» y al uno la «negra», o bien uno igual a «rojo» y cero igual a «violeta», de modo igualmente arbitrario). Con dos posiciones, en código binario se pueden definir cuatro cosas o valores: 00, 01, 10, 11. Con cuatro posiciones podremos hacer hasta dieciséis combinaciones; con ocho posiciones, resultan doscientas cincuenta y seis combinaciones; etc. Es decir, cuanto más posiciones establezcamos, más numeraciones podemos designar, y en nuestro caso, podremos definir más partes de ese voltaje continuo que es capaz de generar una célula fotoeléctrica (siempre que técnicamente podamos diferenciarlas). Si con ello obtenemos una definición más precisa de la realidad (de la cantidad de luz reflejada o emitida por un punto), la contrapartida es que hay que escribirlo, y ocupa mucho, consume muchos recursos de grabación y memoria (que cada día son más eficaces y baratos).

Como se puede apreciar, este proceso es similar al de la digitalización musical: en un micrófono la presión sonora del aire es transducida a variaciones de presión mecánica con una lámina o diafragma, y éstas a su vez se transforman en magnitudes eléctricas que un aparato electrónico, un «convertor analógico digital» divide en un número de partes en función del número de bits que maneje para convertirlos en un texto específico.

Los sensores digitales, ya sean los que lleva un escáner o los de una cámara fotográfica, van acompañados por unos conversores que transforman la señal analógica en digital, y que trabajan a 8, 10, 12, 14 o 16 bits (o posiciones en las que podemos escribir un cero o un uno), con lo que podemos definir cientos o miles de intensidades de luz para cada sensor, y miles o millones de colores (por ejemplo, si trabajamos a 8 bits, cada sensor puede tomar $2^8 = 256$ valores, desde cero hasta 255: esta información es un valor de luminosidad; si combinamos la información de un sensor con filtro rojo, con otro con filtro verde y otro con filtro azul, podemos definir 2563 valores, es decir, 16.777.216 colores. Pero si trabajamos a 16 bits, definiremos millones de matices, lo que nos acerca a una realidad que está millones de veces por encima de los colores que somos capaces de reconocer o de reproducir, pero que nos permitirá mayores manipulaciones en el ordenador)⁶.

La profundidad de color es un concepto que rápidamente vinculamos con el tamaño de archivo. Estas cifras habría que multiplicarlas por el número de píxeles que muestreamos, y tendríamos el volumen total de bits que hay que escribir para definir una imagen. Sin embargo, además de estos valores se escribe otro tipo de informaciones que describen tanto la imagen final como las condiciones de toma (datos Exif), y también estos datos pueden rescribirse de modo más compacto, por ejemplo eliminando redundancias, o todo lo contrario, se pueden hacer archivos más grandes escribiendo todo tipo de datos de modo que lo puedan interpretar el

⁵ Por ejemplo, en el caso de un CD se graba un agujero en su superficie, o no; en el caso de las memorias portátiles que llevan nuestros teléfonos, reproductores de mp3, cámaras fotográficas o pendrives, una celda contiene carga eléctrica, o no.

⁶ En informática, la señal mínima que podemos grabar se llama bit, y ésta ha de ser una entre dos opciones: puede ser un 0 o un 1. Con estas señales se escriben «palabras». Si para escribir una palabra se emplean 8 bits, ésta se denomina *octeto* o *byte* (del inglés «bit by eight»): es decir, 8 bits = 1 byte o expresado en castellano, 8 bits = 1 octeto. Como hemos visto, para definir un tono de luminosidad, utilizamos un número compuesto de una cantidad determinada de bits: 8, 16, 32, etc. De cara a simplificar la maquinaria y las operaciones informáticas, 16 bits se tratan como dos octetos, 32 bits como cuatro octetos, etc. Con 8 bits se pueden definir $2^8 = 256$ valores diferentes, desde 00000000 hasta 11111111. Por tanto, como cada píxel se define por una luminosidad de rojo, otra de verde y otra de azul, un píxel definido a 8 bits por color ocuparía 3×8 bits, y con ello podríamos definir $3 \times 2^8 = 2^4 = 256 \times 256 \times 256 = 16,7$ millones de colores. Si utilizamos una profundidad de color de 16 bits, el archivo ocupará el doble, pero a 16 bits podemos definir $2^{16} = 65.536$ valores de luminosidad, es decir, $2^{(16 \times 3)} = 2^{48} = 281$ millones de colores, lo que permite manipulaciones que resultan imperceptibles.

mayor número de máquinas posibles, y por tanto con más instrucciones de lectura. Estos distintos modos de escribir los datos constituyen los llamados formatos de archivo, de los que hablaremos más adelante. De ellos dependerá el tamaño final del mismo.

El problema del color

Los sensores de luz reaccionan con las longitudes de onda que van desde el ultravioleta cercano al infrarrojo, pasando por la luz visible. Para captar la luz UV, la IR, o la roja, verde o azul de la luz visible de modo aislado, se antepone un filtro que deje pasar estas longitudes de onda y bloquee las demás. Para evitar la luz IR, a la que es muy sensible, delante de toda la placa sensora hay un filtro que evita que esta radiación llegue al sensor. Para captar la luz roja, delante de una célula se sitúa un filtro rojo. De igual modo para la luz verde y la azul.

De este modo se obtienen tres matrices intercaladas que corresponden a las luminisidades RGB (roja, verde y azul) del objeto original. Esta información sirve de base para crear otra matriz de píxeles en la que se reconstruye una posible información RGB para cada píxel, a partir de las informaciones circundantes, mediante distintos algoritmos que evolucionan y mejoran de un año a otro.

Finalmente, en el ordenador, cada píxel se define como una cantidad de rojo, verde y azul, dentro de unos valores posibles determinados por la profundidad de color a la que se trabaje.

Estos datos que se obtienen para cada píxel, que corresponden a los distintos microvoltajes que las células sensoras han producido, han de escribirse en código binario definiendo un color concreto. Para ello se crean distintos sistemas internacionales que asignan números a los colores. Son formas de definir un color descomponiéndolo en partes mensurables. Un modelo de color habitual es el que usamos con nuestros televisores, conocido como HSV (Hue, tono o matiz; Saturation, saturación; Value, valor tonal o brillo o luminosidad).

En nuestro caso, los más utilizados para escribir datos son CIE Lab, RGB y CMYK. Cada elemento que se define conforma un canal de color, una plancha de píxeles en la que cada píxel puede tener un valor numérico que se representa con un valor de gris, desde cero hasta el máximo valor posible.

CIE Lab guarda en el canal «L» la luminosidad de cada punto o píxel, y en los canales «a» y «b» un valor cromático que va del rojo al verde y del amarillo al azul respectivamente. Es un modelo conceptual tridimensional creado para nombrar a todos los colores, y se utiliza para operar, por ejemplo, como intermediario para pasar de un modelo de color a otro, al ser muy extensa la cantidad de colores que describe.

El modelo RGB se basa en el modo como capturamos la información de luminosidad en los sensores digitales, y cómo reproducimos este color en monitores y pantallas de video proyección. Es el modelo de la síntesis aditiva del color luz.

Por último, el modelo CMYK, utilizado en la impresión sobre papel, se basa en la síntesis sustractiva: intercalando puntos de tinta o pigmento Cian, Magenta, amarillo (Yellow), restamos a la luz blanca que incide en ellos cantidades de rojo, verde o azul respectivamente, al ser absorbidos por estos colorantes, con lo que volvemos a recomponer el color capturado.

Por un problema de impresión, para lograr el negro (ausencia total de RGB) y también para aumentar el contraste, se utiliza una tinta o pigmento negro (black).

Dentro del «modelo» RGB que utilizamos para escanear o fotografiar, se definen distintos «espacios» de color, que son una fracción de los colores posibles que define un modelo. Los

espacios de color usuales en fotografía son sRGB, Adobe RGB y ProPhoto. Es un concepto comparable a tener una caja de rotuladores de colores con pocas unidades (sRGB), con más (Adobe RGB), o con muchas más (ProPhoto).

Los espacios de color son estándares genéricos, pero nosotros podemos definir espacios específicos para cada máquina que utilicemos: un escáner determinado, una cámara fotográfica concreta, éste o aquel monitor, ésta o aquella impresora. Estos espacios se llaman «perfiles» de color, y vienen a ser las «cajas de rotuladores» específicas que son capaces de captar o reproducir nuestros aparatos.

Para crear estos perfiles partimos de cartas de colores estandarizadas que fotografiamos o escaneamos, que visualizamos en nuestro monitor, y que imprimimos. En el caso de cámaras o escáneres, un programa compara los datos digitalizados con el valor que debería tener cada parche de color de la carta de calibración y crea un perfil, un listado, con las desviaciones. Para el caso de la carta impresa, se utiliza un pequeño espectrofotómetro o colorímetro, un aparato que va conectado al ordenador por un cable, y que escanea cada parche de color y crea un perfil de modo similar al que comentamos antes. Asimismo, hemos de calibrar el monitor, es decir, primero determinamos unos estándares a los que queremos ajustarnos, un ajuste de gamma (describe qué valor de luminancia vamos a situar como tono medio, lo que determinará un grado de contraste de la imagen. Se recomienda el valor estandarizado 2.2) y un punto blanco (describe si queremos un blanco más frío o azulado, neutro o más cálido o rojizo; se aconseja D65, equivalente a la temperatura de color de 6500 K), para después corregir la luminosidad, el contraste y la dominancia de color mediante los mandos del monitor, y finalmente caracterizarlo, es decir, comprobar las desviaciones de luminosidad y tono que produce nuestro monitor y determinar un perfil de monitor, colocando el colorímetro sobre una serie de parches que van apareciendo en pantalla mediante un programa de calibración de monitores⁷ (Fig. 8).

Estos perfiles sirven para realizar una gestión del color. Si una máquina es capaz de definir un color que otra máquina no puede reproducir, conocidos los que sí puede, podemos gestionar que se utilice otro similar, de modo determinado y siempre el mismo.

Básicamente se utilizan dos métodos de gestión de color: el perceptual y el relativo colorimétrico. El primero lo usaríamos en el caso de que en nuestra imagen capturada hubiera muchos colores fuera de la gama que es capaz de reproducir nuestra impresora: el programa de gestión de color remuestrearía todos los colores para mantener unas distancias relativas entre ellos, pero dentro del perfil de la impresora. A cambio, se baja el contraste. En el método relativo colorimétrico, los colores que existan en ambos perfiles (el del aparato de captura y el de salida) se mantienen iguales, y del resto se busca la equivalencia más cercana. Aunque es más fiel a la realidad, y además tiene en cuenta el valor blanco del papel en el que se va a imprimir, si hay muchos colores fuera de gama, pueden producirse áreas empastadas, en las que varios colores fuera de gama pueden reproducirse de igual modo.

Queda claro que hay un «modelo de color», que describe cómo definir cada color, un «espacio de color», fracciones estandarizadas de estos modelos que se corresponden con las capacidades de captación o reproducción de un conjunto de aparatos, y «perfiles de color», fracciones del modelo específicas para máquinas concretas. También que cuando pasamos una imagen de un aparato a otro, se realiza una «gestión del color» que establece equivalencias para que, con independencia del aparato que usemos, la imagen tenga siempre más o menos la misma apariencia.

⁷ No todos los monitores o pantallas LCD se pueden calibrar, ni todos en la misma medida. En el mejor de los casos, es necesario que en los controles del monitor podamos ajustar los parámetros de gama y punto blanco, así como desviar los valores RGB y gama RGB por separado. En todo caso, conviene calibrarlos al menos una vez al mes y, en el caso de los monitores CRT de tubo de rayos catódicos, éste ha de estar en funcionamiento al menos una hora antes de su calibración.

Sin embargo, en la práctica se suelen simplificar estas labores.

Del escáner podemos crear un perfil, lo que es preferible, o utilizar el que nos da el fabricante. En todo caso es distinto el perfil para transparencias que el de opacos.

Para la cámara tendríamos que crear un perfil de color para cada situación luminica, por lo que salvo que ésta sea constante como por ejemplo sucede con las cámaras que se dedican a reproducir documentos, se suelen utilizar perfiles genéricos: sRGB en las cámaras domésticas, Adobe RGB en las semiprofesionales o profesionales, y en algunas cámaras de gama alta, el perfil creado por Kodak llamado ProPhoto⁸.

Los monitores hoy en día son casi todos pantallas LCD (Liquid Cristal Display), y al igual que los anteriores CRT (Tubo de Rayos Catódicos) hay que calibrarlos periódicamente. Tenemos dos opciones: hacerlo de forma intuitiva, con la ayuda de un programa tipo Adobe Gamma; o utilizar un colorímetro, que es lo que haremos con preferencia. En todo caso, si la pantalla es de mala calidad da igual qué hagamos.

En cuanto a la impresora, cada una requiere un perfil distinto para cada tipo de tinta y cada tipo de papel que empleemos. Ello es debido a que por ejemplo una tinta cian en concreto no absorbe la misma cantidad de rojo que otra de otro fabricante con otra composición química. Asimismo, esa gota será más o menos densa según el papel sobre la que se deposita, que puede ser más o menos absorbente, produciendo lo que se conoce como «ganancia de punto». Cuanto más densa sea, con mayor intensidad absorberá la luz roja. Como ocurre lo mismo con la tinta magenta y amarilla, es claro que de un papel a otro y de una impresora a otra, cada una con su tinta, su forma de depositar la tinta y su resolución -cantidad de tinta depositada-, los colores reproducidos varían muchísimo. Casi todos los fabricantes de impresoras y de papel tienen perfiles que podemos descargar de sus páginas web para instalarlos en nuestro ordenador⁹.

Todos los perfiles que utilizamos en los programas cumplen un estándar creado por el Consorcio Internacional del Color, ICC (Internacional Color Consortium).

⁸ Manejar un espacio de color más amplio, supone tener unas células sensoras más grandes, capaces cada una de ellas de contener más electrones a medida que inciden en ellas más fotones, y por tanto capaces de dar una diferencia de voltaje mayor. Este rango de voltaje más amplio es más fácilmente discernible por un conversor analógico / digital que obviamente ha de trabajar a más bits por píxeles (normalmente ahora utilizan 14 o 16). Todo ello requiere que el microprocesador que lee y rescribe estos datos sea capaz de procesar volúmenes de información muy grandes y en un tiempo récord (en el caso del escáner, o de una cámara gestionada desde un ordenador, todo esto es igual que en una cámara autónoma, sólo que los datos son procesados por el ordenador de sobremesa al que esté conectado, y el tiempo de procesado no es un problema prioritario). Como entenderán, hay que guardar la mejor relación posible entre el tamaño de cada célula sensora (con lo que logramos discernir mejor los tonos: rango tonal del sensor), y la cantidad de éstas (la cantidad de células que caben en un espacio determinado para ello y que se corresponden a puntos que muestreamos de la realidad). El tamaño de la célula también viene limitado por arriba por un fenómeno de la luz llamado difracción: cuando una onda de luz choca contra el borde de un cuerpo opaco, su trayectoria se difracta, se desvía. Esto ocurre por ejemplo cuando la luz del sol atraviesa las hojas de un árbol frondoso: por los intersticios más pequeños podemos observar que la luz se dispersa, parece que se irradia desde esos puntos. Se trata de ondas luminosas difractadas.

En una cámara fotográfica, los rayos de luz que salen de un punto de un objeto atraviesan una lente para poder converger en un punto sobre un material fotosensible, que en nuestro caso es una fotocélula. Pero si se difractan muchos rayos, y eso sucede a medida que cerramos el diafragma, la difracción viene a lograr que la luz de un punto de un objeto afecte a más de una fotocélula, con lo que perdemos definición. Por otro lado, si abrimos mucho el diafragma, una serie de aberraciones ópticas producidas entre los rayos periféricos y los centrales a la lente, así como por las distintas longitudes de onda de la luz, hacen un efecto parecido en cuanto a que rayos provenientes de un solo punto se focalizan en varias células, perdiéndose resolución, nitidez.

De lo anterior se deduce que es crítico el tamaño de cada fotocélula. Se calcula, en función de la difracción, que el óptimo está alrededor de 9 μm .

También es claro que para trabajar a muchos bits en un espacio de color muy amplio como ProPhoto, hace falta una buena placa fotosensible.

⁹ Tras descargarlos, clicamos con el botón derecho del ratón y en el menú contextual seleccionamos instalar perfil (para el sistema operativo windows). A partir de aquí lo encontraremos en la lista de perfiles que aparece en el programa que utilizemos para imprimir.

Resolución de la imagen

El sensor digital de una cámara fotográfica consiste en una placa de silicio con una serie de células fotosensibles ordenadas en filas y columnas, delante de las cuales hay unos diminutos filtros de color RGB. Por ejemplo, una cámara que tuviera 2560 celdas en cada fila y 1920 celdas en cada columna, tendría $2.560 \times 1.920 = 4.915.200$ celdas totales, lo que equivaldrá al mismo número de píxeles. Normalmente la cámara tendrá algunas células periféricas de más, ocluidas a la luz, para tener por ejemplo una referencia del negro, o una indicación de ruido (el propio sistema genera carga eléctrica que no proviene de la conversión fotón-electrón, y que por ello se considera indeseable al confundirse, como ruido, con la señal real que constituirá la imagen).

El caso del escáner es mejor en cuanto a la calidad con la que se puede captar la información, y peor en cuanto al tiempo que lleva hacerlo. Un escáner suele tener tres filas de células fotosensibles, una con un filtro rojo, otra con uno verde, y otra con uno azul¹⁰.

En lugar de columnas, mediante un sistema de espejos y lentes móviles, se va muestreando, «fotografiando» filas consecutivas del original. Por tanto, si el número de células de una fila de nuestro escáner fuera, como en el ejemplo anterior, de 2.560 celdas, el número de «columnas» depende de la cantidad de micropasos que realice el escáner a lo largo de toda la superficie del mismo. Como referencia se suelen dar pasos de igual longitud a la que equivale a dividir el ancho muestreable del escáner entre el número de células de la fila¹¹.

En definitiva, la resolución máxima de un escáner sale de multiplicar el número de celdas que tiene una fila, por el número de líneas que muestrea, ya sea éste de sobremesa para objetos bidimensionales, o se monte en una cámara fotográfica.

Por tanto, la resolución de una imagen viene determinada por las capacidades técnicas de la máquina digitalizadora¹².

¹⁰ Hoy casi en desuso, también existe la posibilidad de realizar tres barridos sucesivos, cambiando los filtros de una única fila de fotosensores.

¹¹ Sin embargo, también hay escáneres que dan pasos intermedios con el fin de aumentar y así mejorar la información muestreada, aunque luego no tiene porqué corresponderse con nuevos píxeles. Como la separación entre celdas crea áreas que no se ven, hay fabricantes que desplazan alguna de las filas para compensarlo.

¹² Un escáner tiene varias ventajas en cuanto a calidad de muestreo. 1. La resolución final puede ser mucho mayor, en función de la superficie escaneable y de la cantidad de micro pasos que dé el sistema de barrido. 2. Las células no están tan condicionadas como lo están en una cámara fotográfica a un tamaño reducido y determinado. 3. Se utiliza un inmenso ordenador de sobremesa para gestionar los datos que llegan del conversor analógico digital. 4. Se puede muestrear la misma área puntual con un fotosensor con filtro rojo, otro con filtro verde y otro con filtro azul. 5. Existe la posibilidad de muestrear cada área puntual del objeto múltiples veces, teniendo una definición mucho más precisa de las cantidades RVA que refleja o transmite cada punto.

Dado que pueden hacerse escáneres con mejores prestaciones que las placas de matrices fotosensoras de las cámaras digitales, algunas cámaras de las llamadas de gran y mediano formato, las de estudio, dedicadas a la reproducción de objetos inanimados, utilizan como respaldo fotográfico escáneres adaptados. Otra opción que se utiliza es la de usar una placa sensora sin filtro mosaico que realiza tres exposiciones consecutivas a través de filtros de separación R/V/A que cubren toda la placa y que pueden ser de mayor calidad. También hay respaldos que utilizan tres placas sensoras a las que les llega luz R, V o A del objeto, seleccionada mediante prismas de separación (aprovechan las distintas refracciones de las longitudes de onda R, V o A). La alta resolución y calidad de las cámaras más modernas está llevando a que estos respaldos se utilicen cada vez menos. Por último están los llamados respaldos «multishot» o multi-disparo, que son respaldos de alta resolución que integran un filtro mosaico Bayer: funcionan como una cámara normal mediante disparo simple, permitiendo capturar objetos móviles, pero si es necesario se puede colocar en un trípode y desplazar la matriz de modo que, mediante una serie de disparos consecutivos, cada célula se anteponga de un filtro rojo, otro verde, y otro azul en exposiciones sucesivas, mediante el microdesplazamiento del filtro matriz. Otra variante consiste en desplazar también el sensor en medios pasos, por lo que con sucesivas exposiciones, se puede ampliar la cantidad de puntos medidos del objeto, esto es, la resolución. Variaciones sobre cómo desfasar el filtro o el sensor se han hecho muchas. Un método que también se emplea para objetos estáticos, consiste en dividir en varias partes el área de imagen de 4 x 5" que cubre una cámara de gran formato, e ir desplazando por ellas un sensor digital que se solapa ligeramente de toma a toma: posteriormente, mediante un programa se unen las imágenes en una sola, teniendo una resolución que es la suma de todas ellas. Un método sencillo y económico consiste en utilizar un objetivo de mayor longitud focal, que abarque menos imagen, y realizar varias tomas para luego ensamblarlas en el ordenador (este sistema difiere del anterior en que salvo que nos ayudemos de artilugios mecánicos para evitarlo, las tomas tendrán errores en la perspectiva, realmente no encajarán unas con otras aunque no lleguemos a notarlos a simple vista o podamos disimularlo. Como es relativamente frecuente, muchos programas de edición han automatizado esta opción, con lo que solo tenemos que decirle al programa que imágenes queremos ensamblar y el ordenador las combinará con mayor o menor acierto).

Un problema que tienen las exposiciones múltiples es que la iluminación ha de ser idéntica en todas ellas. Esto se complica con los respaldos de escáner porque además, la luz no ha de vibrar ni ha de variar su temperatura de color, su tono, durante el tiempo que dure el barrido del escáner (luces HMI, fluorescente fotográfico de alta frecuencia, o bombillas halógenas en todo caso. Obviamente no se puede utilizar un flash).

Tanto los escáneres como las cámaras suelen dar la opción de capturar menos píxeles, lo que se hace descartando la lectura de algunos de ellos. Pero también suele ser posible lo contrario, definir más píxeles de los que realmente hemos medido en el objeto real. En los escáneres se llama «resolución interpolada», y en las cámaras digitales domésticas, ya que las profesionales no lo contemplan, se llama «zoom digital» y consiste en utilizar la parte central de la matriz fotosensora para luego procesarla como si la imagen se hubiera captado con todas las células de la placa. Ambos casos carecen de calidad. Si quisiéramos aumentar la cantidad de píxeles de una imagen, conviene hacerlo mediante programas específicos, que cada año son mejores, y que nos permiten ir viendo los efectos del remuestreo en nuestra pantalla, con la posibilidad siempre presente de volver al archivo original.

La resolución a la que debemos digitalizar depende del uso que se prevea hacer de la imagen. Hay dos opciones: verla en una pantalla o imprimirla.

Las pantallas suelen definir 72 puntos de luz en cada pulgada lineal (1" = 2,54 cm). Además, en función de las características técnicas de la pantalla y de la tarjeta de video de nuestro ordenador (que se encarga, mediante un programa informático, de leer cada píxel de la imagen y decodificar esa información en forma de señales eléctricas que la pantalla es capaz de interpretar) las pantallas se configuran a una resolución fija como por ejemplo 800x600, 1024x768, etc.

Esto quiere decir que si queremos que una imagen ocupe por completo una pantalla definida a 800x600 puntos, debería tener 800x600 píxeles. Si tuviera más, cada vez que se muestra la imagen en pantalla hay que procesarla y remuestrearla eliminando los píxeles sobrantes.

El caso de la impresión es similar. Hace falta una máquina y un programa informático para leer la información que contiene cada píxel y transformarla en otra equivalente: puntos de tinta por pulgada (a nivel industrial estas máquinas y programas se llaman RIP, Raster Image Processor).

La relación también iría uno a uno (píxel a punto), si no fuera porque estos cambios son muy complejos y el software que hace la traslación utiliza dos píxeles contiguos para definir con mayor precisión un punto. Por tanto hacen falta entre 1,5 y 2 píxeles contiguos por cada punto impreso¹³.

Existen muchos sistemas de impresión, aunque en esencia consisten en colocar puntos de tinta o pigmento cian, magenta o amarillo superpuestos o unos junto a otros, en filas o de modo aleatorio, para sustraer un porcentaje de rojo, verde y azul a la luz blanca incidente en ellos. De este modo se reflejan, sobre el fondo del papel o el pigmento, las cantidades de rojo, verde y azul que tenía el objeto original¹⁴.

¹³ La idea es que el mismo píxel de referencia puede servir para definir el punto de su izquierda como el de su derecha. Aquí se genera una pequeña confusión producto de escribir unas cosas en inglés y otras en castellano indistintamente. «Píxeles por pulgada», es una unidad de medida que corresponde a la imagen y se suele escribir como «ppp». Se emplea para pantallas y monitores. En castellano diríamos «píxeles por centímetro», $\text{pixel/cm} = \text{ppp}/2,54$. En artes gráficas se suelen utilizar las expresiones en lengua inglesa «dot per inch» o «dpi» (puntos por pulgada), o en forma de «lineatura», es decir líneas (o pares de líneas porque para poder ver una línea negra hace falta que junto a ella exista otra blanca) por centímetro, «pl/cm», o líneas por pulgada «lpp». En el caso de la impresión offset, que es el sistema de impresión más habitual de una imprenta, se suele decir que es necesario que las imágenes tengan el doble de píxeles que la lineatura con que se va a imprimir. Actualmente la mejora de las máquinas y los programas lleva a que esta resolución se sitúe entre 1,5 y 2 veces la lineatura. La confusión viene de escribir unas veces «ppp» como «píxeles por pulgada» y otras como «puntos por pulgada», refiriéndonos tanto a monitores como a impresoras o a la propia imagen. Por ejemplo, aunque es un poco grosero, diríamos que hace falta el doble de «ppp» que de «dpi», lo que es equívoco. Para liarlo más, el término «dpi» se suele utilizar tanto para definir la resolución de una pantalla, como de una imagen, o una impresión.

¹⁴ La llamada luz blanca se compone de longitudes de onda roja, verde y azul. La tinta o pigmento cian es una sustancia que absorbe las longitudes de onda correspondientes al color rojo, transmitiendo o reflejando las demás. En función de su densidad, una gota de tinta será más o menos absorbente de la radiación roja. Otro modo de hacerlo es en función de la superficie que ocupe respecto a un área blanca: esa área absorberá más o menos rojo. De modo análogo ocurre con el magenta (que absorbe el verde) y el amarillo (que absorbe el azul). Por tanto, el color que vemos es el que finalmente se refleja en la superficie del papel: es decir, la cantidad de rojo, verde y azul que no ha sido absorbida por las tintas o los pigmentos. Si el sistema de impresión (e incluso en ese caso) no permite que se superpongan los colorantes, tintas o pigmentos cianes, magentas y amarillos, no se llega a absorber toda la luz y por tanto no se puede reproducir el negro. Además, debido a la naturaleza de los materiales empleados, la absorción no suele ser total. Por ello, para conseguir el color negro así como para aumentar el contraste suele emplearse tinta negra en la mayoría de los sistemas de impresión.

Por tanto el factor determinante de la resolución es el tamaño al que se va a imprimir la imagen, o lo que es lo mismo, la distancia a la que se va a ver ésta. La distancia mínima es aquella en la que se abarca toda la imagen con la mirada. Los puntos que se imprimen han de ser tan pequeños y estar tan cercanos entre sí como para que no los distingamos como tales puntos, sino que nos parezca estar viendo una imagen de tono continuo (algunos sistemas de impresión generan imágenes de tono continuo o casi, pero sus principios de resolución necesaria son similares)¹⁵.

Esto conduce a que se estipulen una serie de resoluciones o lineaturas determinadas para cada tipo de impresión, impresora y papel (por lo de la ganancia de punto). Cada máquina, impresor y presupuesto determinan una resolución que gratamente nos indicarán (recordemos que también necesitaríamos los perfiles de color). Como referencia suele decirse que para una impresión industrial offset (mediante máquinas como las rotativas de los periódicos que todo el mundo ha podido ver en alguna película), la impresión llamada «de arte» tiene una lineatura de 175 a 200 líneas por pulgada, catálogos, revistas y libros en general están entre 120 y 150 lpp, y los periódicos entre 85 y 100 lpp. Las grandes impresiones en plotter (impresoras de gran formato) requieren imágenes definidas con unos 150 píxeles por pulgada y las vallas publicitarias menos de 100 ppp¹⁶.

Como podemos comprobar cuando nos acercamos a un cartel publicitario, los puntos son muy grandes y por tanto hay pocos en cada pulgada, con lo que la resolución total de la imagen en píxeles pudo ser parecida a la necesaria para una copia grande en calidad arte.

Por todo ello es claro que la resolución necesaria para imprimir una imagen está en función de la lineatura y de las veces que queramos ampliar dicha imagen. Así por ejemplo, si tenemos una lineatura de 150 lpp y nos piden para ello las imágenes a 300 ppp, si nuestro sensor digital tiene $3000 \times 2000 = 6$ millones de píxeles, la imagen la podremos ampliar hasta $[3000/300] \times [2000/300] = 10 \times 6,66$ pulgadas, es decir, $[10/2,54] \times [6,66/2,54] = 25,4 \times 16,9$ centímetros, sin interpolar.

Para el caso del escáner se puede aplicar la siguiente fórmula:

Lineatura x factor de calidad (normalmente 1,5 a 2) x porcentaje de ampliación (en tantos por uno). Por ejemplo, para una lineatura de 150 lpp, con un factor de calidad de 2 píxeles y ampliando el original un 500%, necesitamos escanear a $150 \times 2 \times 500 = 1500$ ppp, píxeles por pulgada. Como estas operaciones son muy habituales, en el propio programa de gestión del escaneado encontramos los campos «lineatura» (aunque a veces expresado como «destino de la imagen» con los subcampos pantalla, periódico, revista, etc) y «porcentaje de ampliación», y si los rellenamos, el programa elige la resolución de escaneado adecuada dentro de las posibilidades del aparato.

Tener píxeles de más no afecta a la calidad de la imagen, dado que el programa que procesa los datos tiene predeterminado el número de píxeles que ha de leer por punto que ha de definir, y elimina todos los demás. Simplemente ralentiza el proceso.

En el caso en que falten píxeles, se utilizan distintos programas que, remuestreando la imagen por bloques, intercalan píxeles nuevos, imaginarios. Si bien en el pasado estos algoritmos producían efectos muy acusados, hoy día, y hasta cierto nivel de ampliación, resultan casi imperceptibles.

¹⁵ Se considera que dadas las características físicas de un ojo humano tipo, que está compuesto de células fotosensibles, no distinguimos un punto o una raya cuando su ángulo aparente (el ángulo que forman los rayos de luz que salen de los dos puntos más extremos del objeto hacia nuestro ojo) mide 3×10^{-4} radián = 0,3 mrad, es decir, aproximadamente un minuto de arco.

¹⁶ Las resoluciones que muestran los fabricantes de impresoras suelen dar cifras de impresión muy elevadas como por ejemplo 1200 ppp. Esto hace referencia a la cantidad de gotas que la máquina es capaz de depositar sobre la hoja del papel. Sin embargo, para definir un punto completo hace falta un número determinado de ellas, por lo que esta resolución habría que dividirla entre el número de gotas que se utilizan para describir un punto si queremos conocer la lineatura real, su resolución.

En los programas de tratamiento digital de imágenes encontramos una ventana donde determinamos el tamaño de la imagen, a partir de la imagen digitalizada, bien en píxeles, en pulgadas o en el sistema métrico decimal, ya sea poniendo o quitando píxeles, es decir, remuestreando la imagen, o utilizando los que ya tenemos, en cuyo caso si ampliamos la imagen en centímetros habrá menos píxeles por pulgada o centímetro, y si la reducimos habrá más¹⁷.

Formatos de archivo: Jpeg, Tiff y Raw

Cuando digitalizamos una imagen, ésta viene definida mediante palabras. El archivo digital es por tanto similar a cualquier texto. En un texto tendríamos que especificar con qué alfabeto escribimos, qué gramática usamos, si escribimos de izquierda a derecha o de arriba hacia abajo, cómo separamos una palabra de otra, una línea de otra, un párrafo de otro, con qué tipografía hay que reproducirlo, etc., y también datos afines al texto como la fecha y el lugar de creación, el autor, etc. finalmente de aquí sale un documento que archivamos.

Los archivos de imagen son documentos que definen todos los datos necesarios para reproducir una imagen, y algunos otros llamados metadatos o archivos Exif que definen las condiciones de captura (modelo de escáner o cámara, fecha y hora, etc.).

Según cómo y qué definan, hablamos de un tipo de formato de escritura de datos o de otro. Básicamente hay dos: los que recogen la información de captura de la cámara, y los que transforman ésta en definiciones más concretas acordes con las posibles salidas (pantallas e impresoras).

Existen muchos formatos para imágenes fotográficas, pero se suelen utilizar sólo tres.

El formato RAW, conocido también como archivo de datos brutos o en bruto, graba la información de luminosidad que capta cada fotocélula a la profundidad de color que sea capaz el conversor analógico / digital (10, 12, 14 o 16 bits en las cámaras usuales. Las científicas de alto nivel son más precisas). Esto no quiere decir que la señal no esté parcialmente procesada. Por ejemplo, en las exposiciones largas resulta difícil separar la carga eléctrica producida por la luz de la que se genera en la placa por distintos motivos como por ejemplo la elevación de la temperatura, y que provoca valores que no corresponden con la realidad conocidos como ruido electrónico. Suele ser habitual que los archivos RAW sean previamente procesados por la cámara con programas que minimizan estos efectos.

Por tanto, el tamaño de estos archivos es sencillo de conocer: número de fotocélulas x bits a que se codifique (10, 12, etc.). Por ejemplo, a 8 bits (= 1 byte), un sensor de 6 megas crea archivos de $6 \times 1 = 6$ MB (Mega Bytes), y a 12 bits, $6 \times (12/8) = 9$ MB, más la cabecera del archivo con datos tipo Exif, que no suele ser más de 500 KB.

El problema del archivo RAW es que no viene codificado para ser visto o impreso, por lo que hace falta un programa específico para poderlos leer y otro o el mismo para codificarlos con el concepto de píxel (la información de color –RGB, CMYK, etc.- de una superficie cuadrada). Pero su gran ventaja es precisamente ésa: al no estar codificados, la información de la que disponemos es mayor, no hace falta ajustarse a las limitaciones que suponen los aparatos de reproducción, con lo que podemos corregir pequeños errores que hayamos cometido al realizar la fotografía, e incluso definir algún parámetro de toma en el ordenador¹⁸.

¹⁷ Básicamente se utilizan la interpolación por vecindad, la bilineal y la bicúbica. La primera asigna al nuevo píxel el valor del que tiene a su lado, por lo que suele producir «artefactos» extraños. La opción bilineal interpola un nuevo píxel en función de la información de una matriz de 2x2 píxeles, lo que suele provocar cierta pérdida de definición. El sistema bicúbico, el más utilizado y que sale por defecto en los programas, utiliza la información de una matriz de 4x4 píxeles mediante unas matemáticas complejas que, en las últimas versiones de los programas de tratamiento de imagen, podemos controlar buscando resultados más suavizados o más contrastados.

Otra gran ventaja del formato RAW es que no se puede sobrescribir, no se puede modificar, lo que junto con lo anterior ha llevado a conocerlo como el «negativo digital».

TIFF, del inglés Tagged Image File Format, es un formato en el que la información de las fotocélulas ha sido remuestreada para crear píxeles R/G/B. Además cada valor R, G o B puede grabarse a 8 o a 16 bits. Por tanto cada píxel ocupa $3 \times 8 = 24$ bits (o $3 \times 1 = 3$ bytes), o $3 \times 16 = 48$ bits. En nuestro ejemplo de antes, un sensor de 6 millones de fotocélulas generaría un archivo de $6 \times 3 = 18$ MB a 8 bits por color, a lo que habría que sumar varios megabytes que especifican datos que permitan al archivo ser reproducido en distintas máquinas, como el espacio de color utilizado en la captura, los datos Exif, etc. Por tanto es un archivo complejo, que ocupa mucha memoria, que se tarda en codificar y que requiere un programa que lo interprete.

Es el formato más usual para escanear y para enviar fotografías a las imprentas. En las cámaras fotográficas está desapareciendo debido a que el RAW ocupa la tercera parte y no necesita largos tiempos de procesado, permitiendo correcciones de postproducción que en el TIFF hay que realizar antes de la toma.

El formato TIFF permite compresión sin pérdida: el texto en código binario se simplifica para después regresar a su estado inicial.

JPEG, es un formato de archivo de los llamados de «compresión con pérdida», en la que datos más o menos similares son escritos como si fueran iguales, para poder simplificar los textos y que ocupen menos memoria. Previamente a la captura hemos de definir todos los parámetros relativos a la toma, incluido el grado de compresión (cuanto más lo comprimamos más lejos estaremos de la realidad del objeto original).

Es un formato útil cuando se dispone de poca memoria para grabar datos, cuando no se quiere o puede postproducir, o cuando hemos de manejar archivos pequeños en memoria pero con un número de píxeles relativamente elevado (por ejemplo para páginas web).

Es importante tener en cuenta que un archivo JPEG se remuestrea cada vez que se guarda (distinguiendo «cerrar», que implica que dejamos de ver el archivo, de «guardar» que significa volverlo a escribir), por lo que si hiciéramos esto varias veces, los datos serían cada vez más dispares respecto al original, formándose grandes áreas perceptibles de píxeles con los mismos valores, y por tanto, áreas de color plano donde antes pudo haber una suave gradación de color (ocurre lo mismo si comprimamos mucho un archivo).

El histograma, la revolución digital

Esta es quizá la parte más importante y sencilla de la fotografía digital y supone un verdadero cambio en la forma de trabajar.

Como venimos diciendo, una imagen es una plancha de píxeles, pongamos por ejemplo una imagen de 3000 x 2000 píxeles. Por otro lado, las fotocélulas sólo informan de la cantidad de fo-

¹⁸ Este es el caso, por ejemplo del llamado «balance de blancos» (en las cámaras aparece «WB», acrónimo de White Balance). Cuando fotografiamos una hoja blanca con una luz de incandescencia, la típica bombilla de filamento de tungsteno, como la luz que emite esta fuente es muy rojiza, la hoja blanca de papel la veríamos roja si no fuera porque nuestro cerebro corrige esta desviación. Pero la cámara de fotos la capta rojiza si su sensor está corregido para entender el color blanco como cantidades iguales de fotones rojos, verdes y azules. Hacer un balance de blancos supone que cuando la luz que incide en una superficie que debería de ser neutra (que no refleja más una longitud de onda que otra) refleja la radiación roja, verde o azul de modo desigual, los datos leídos se interpreten como si fueran iguales, recomponiendo el resto de los colores a partir de estas correcciones. El formato RAW que graba datos «en bruto», permite realizar este procesado en el ordenador, por lo que se puede descuidar en el momento de la toma. Sin embargo, para poderlo hacer necesitaríamos incluir en la imagen una carta gris neutro, donde tomaremos los datos que hay que balancear. Normalmente se fotografía antes que el objeto para luego, en el ordenador, definir los parámetros de desviación de esta primera imagen y aplicárselos a las siguientes. En los escáneres también se puede hacer (dependiendo del programa que lo gestione), aunque no es tan crítico porque el equilibrio de su fuente de luz es, a efectos prácticos, siempre el mismo.

tonos que les llegan, es decir, de la luminosidad de un punto. Para representar la imagen anterior en color R/G/B, se generan tres planchas de píxeles, todas ellas de igual dimensión (3000 x 2000 cuadrados), en las que los valores de luminosidad se visualizan como grises, desde el negro hasta el blanco (informáticamente son una «palabra», un número, pero en pantalla lo visualizamos como un gris claro u oscuro). Cada una de estas planchas se llaman «canales de color» (Fig. 9).

Si nosotros cambiáramos el valor de gris de uno de estos cuadrados, estaríamos cambiando la composición R/G/B del píxel, es decir, su color. Si aclaramos los tres canales en bloque, aclaramos la imagen, si los oscurecemos, lo mismo ocurre con la imagen. Si aclaramos los cuadrados más claros y oscurecemos más los más oscuros, la imagen será más contrastada. Los programas de edición de imágenes trabajan cambiando los valores de luminosidad de estos «canales de color».

Estos canales se pueden representar de otro modo, mediante un gráfico llamado «histograma». El histograma es una representación bidimensional de la luminosidad de la imagen en su conjunto o de la luminosidad de cada canal de color R/G/B (o el sistema de color en que trabajemos, como CMYK, etc.). En la coordenada horizontal se expresa la luminosidad desde el negro hasta el blanco, es decir, la cantidad de luz de cada píxel. En el eje vertical se representan la cantidad de píxeles que captaron ese valor. Por tanto, el histograma se compone de barras, puntos uno encima de otro que representan los píxeles que en la imagen tienen una luminosidad determinada (Fig. 11).

La principal utilidad del histograma es ayudarnos a exponer correctamente, entendiendo esto como capturar la mayor información posible sobre los valores lumínicos del objeto.

Supongamos una cámara con un rango dinámico de seis diafragmas o «valores de exposición» (es decir, podemos duplicar seis veces la cantidad de luz que llega al sensor sin que éste se sature. En este caso, el histograma aparecerá dividido en seis partes mediante unas líneas verticales). Además supongamos que podemos codificar la señal a 14 bits.

Esa diferencia de seis diafragmas que representan una gama tonal desde el negro (la cantidad de fotones no es suficiente para que el sensor los convierta en carga eléctrica reconocible), hasta el blanco (la cantidad de fotones sobrepasa los electrones que puede producir el sensor), la podemos dividir en código binario a 14 bits en $2^{14} = 16.384$ partes o palabras. Como la conversión fotón-electrón es lineal, la generación de electrones es proporcional a la incidencia de fotones, por lo que el sexto nivel contendrá la mitad de estas partes (8.192 partes, y si nos resulta más sencillo de comprender las podríamos equiparar a «fotones»), el quinto nivel tendrá la mitad que el anterior (4.096 «fotones»), la mitad el cuarto (2.048), la mitad el tercero (1.024), la mitad el segundo (512), y la mitad el primero (256). De aquí se deducen varias cosas (Fig. 11).

En primer lugar imaginemos que un objeto reflejara la luz equivalente a, por ejemplo, tres diafragmas. Una exposición correcta sería captar las diferencias de luminosidad que muestra el objeto sin hacerlas completamente blancas (sobreexposición) o negras (subexposición). Pero esto lo podemos hacer exponiendo la placa fotosensora a la luz del objeto dejando que llegue poca luz, de modo que se cubran las tres primeras particiones del histograma, o que llegue mucha luz, con lo que se rellenarían las tres últimas particiones. En el primer caso habremos diferenciado [256 + 512 + 1.024] valores de luminosidad, y en el segundo [2.048 + 4.096 + 8.192] niveles de luz, con lo que la información que tenemos del objeto está mucho más matizada.

Esto ocurre si trabajamos en formato RAW a 14 bits. En JPEG, que funciona a 8 bits el primer caso supone distinguir $4 + 8 + 16 = 28$ niveles de gris, y en el segundo $32 + 64 + 128 = 224$. Además, aunque esto se está modificando, los fotómetros de las cámaras tienden a dar un valor de exposición bajo, con lo que situarían la gráfica del histograma en su parte oscura, la que menos valores de luminosidad distingue.

Otra cosa que podemos apreciar del histograma que hemos comentado es que está muy comprimido a la izquierda. Se trata de una distribución lineal del histograma que no es la que finalmente vemos en la cámara, el programa de gestión del escáner o el programa de tratamiento de imágenes. En ellos vemos lo que se llama una «distribución de gamma corregida». En ésta, en el punto central del eje horizontal se sitúa el «gris medio» (factor de reflexión del 18%), distribuyéndose los demás tonos a ambos lados, mediante un programa que varía de un fabricante a otro, y que en el postratamiento del RAW podríamos controlar hasta cierto punto (Fig.11).

También es importante observar que un fotosensor que tenga un rango dinámico muy amplio necesita un conversor analógico digital que trabaje a muchos bits para poder describirlos (un rango o gama dinámica de 10 diafragmas no se puede definir a 8 bits).

Operativamente el histograma es muy práctico. Cuando hacemos una fotografía conviene comprobar el histograma y ver si llega hasta su parte derecha. Si no llega, expondremos más la imagen en una segunda toma, pero sin que se sobrepase (sobrepasar este valor es saturar las fotocélulas). El mejor exposímetro es el histograma: ha hecho desaparecer al exposímetro de mano y a la película polaroid como instrumentos de valoración de la exposición correcta.

También nos sirve para ver si una escena tiene poco o mucho contraste, o si la gama tonal es limitada o amplia. Si el gráfico del histograma es muy estrecho, hay poca diferencia de luminosidad entre el punto más oscuro y el más claro de nuestro objeto (siempre podremos iluminar más la zona clara, lo que aumentará el contraste final de la imagen). Por el contrario, si el gráfico del histograma sobrepasa sus extremos, la imagen estará muy contrastada, y habrá píxeles completamente negros y otros blancos (en este caso podemos reducir las diferencias de luminosidad de la escena iluminando las áreas oscuras del objeto, o tamizando las luces de las zonas claras)¹⁹.

En los programas de escaneado, que siempre hacen una visualización previa de la imagen antes de escanearla definitivamente, podemos ver dos histogramas: el de la imagen pre-escaneada en modo estándar, y otro que muestra cómo quedará éste tras manipular los parámetros que se nos permitan, como es el propio histograma. En este caso, bajo el histograma, que forma parte de una herramienta llamada «niveles», tenemos tres triángulos, uno negro a la izquierda, otro gris en el medio, y uno blanco a la derecha. Pinchando en ellos con el cursor podemos desplazarlos para corregir el negro (si lo desplazamos a la derecha, los píxeles que queden a su izquierda pasarán a tener el valor 0 = negro), el punto gris medio, el llamado «valor de gamma», o el blanco (los píxeles a su derecha serán todos blancos). Para tener una gama más completa se suele desplazar el triángulo negro y el blanco hasta que casi encuentran la gráfica del histograma, con lo que si visualizamos el gráfico del histograma resultante éste llega de extremo a extremo.

En la postproducción en el ordenador de los archivos RAW se pueden hacer cosas parecidas, comprimir o descomprimir la gama dinámica. Esto también es posible para archivos TIFF a 16 bits.

Para JPEG y TIFF a 8 bits manipular los niveles sólo tiene sentido si estos cambios no son excesivos y las imágenes van a tener un uso secundario. Si nuestra imagen consta de, por ejem-

¹⁹ Otra solución consiste en exponer las luces dentro del histograma, dejando las sombras negras (contra el margen izquierdo del histograma), y en otra toma exponer las sombras dentro del histograma, dejando las luces completamente blancas (hacia la derecha del gráfico): mediante un programa informático de tratamiento de imágenes podremos combinar las partes de ambas imágenes que contienen detalles, tanto en las luces como en las sombras. Esto se puede hacer de modo manual o automático, e incluso, se puede hacer con más de dos tomas si la separación tonal entre luces y sombras fuera excesiva para la cámara que estemos utilizando. En los programas de edición de imagen que ofrecen esta opción automática se expresa como modo HDR (del inglés High Dynamic Range, o alta gama dinámica), y suelen permitir que se compile la imagen a 8 bits (lo que supone una reconstrucción fantástica de la realidad tonal que fotografiamos) o a 16 o incluso 32 bits por píxel (con lo que conservamos la información de la diferencia tonal que existe en esa realidad que fotografiamos con esas condiciones de luz dadas).

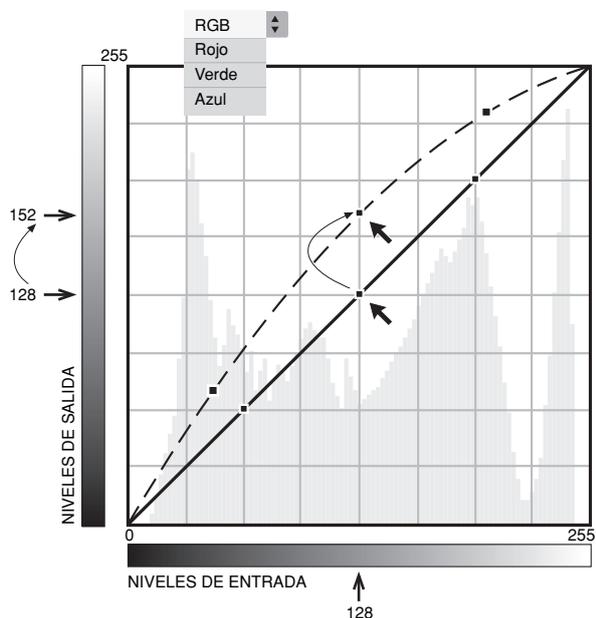


Fig. 12. La herramienta curvas. En el ejemplo la imagen original (entrada) se ha aclarado subiendo el valor medio (128) a otro más alto (152: más claro): el resto de los valores se remuestrean siguiendo la curva. El histograma que se muestra pertenece a la imagen original y aquí sólo sirve de referencia. Si seleccionamos algún canal de modo individual, podremos modificar su gama tonal afectando con ello al color de la imagen.

car» en cualquier punto de su recta y desplazarlo variando de ese modo la luminosidad de la imagen. De este modo podemos, como lo hacemos con los niveles cuando cogemos el triángulo gris, asignar el valor «gris medio» a unos píxeles que antes eran más claros o más oscuros. Esto lo hacemos clicando en el centro de la línea y llevando ese valor hacia otros más claros (desplazamos el cursor hacia arriba) o más oscuros (lo desplazamos hacia abajo). La línea se ondulará para pasar por todos los puntos que pongamos en ella (Fig. 12).

De este mismo modo podemos clicar en la parte alta de la línea (los tonos claros) y, por ejemplo, subir ese punto, con lo que aclaramos más estos tonos, para ir luego a la parte baja (los tonos oscuros) clicar para añadir un punto y desplazarlo hacia abajo, con lo que los tonos oscuros lo serán aún más. De este modo hemos logrado aumentar el contraste de la imagen. Si hacemos lo contrario, perdemos contraste. Si sólo lo hacemos en la zona que representa a las luces o a las sombras, podemos aclarar u oscurecer sólo éstas.

Tanto en niveles como con las curvas podemos visualizar las gráficas de cada canal de color rojo, verde o azul, y modificar solamente uno o varios de ellos, con lo que alteraremos los valores tonales, los colores de la imagen final, por ejemplo corrigiendo dominantes de color, y en el caso de las curvas afectando de modo selectivo a las luces, medios tonos o sombras.

Además, en general, en las dos herramientas tenemos unos botones con el dibujo de un cuentagotas negro, otro gris y otro blanco que podemos utilizar seleccionándolos para luego clicar con ellos sobre píxeles de la imagen que sepamos que son negros, grises neutros o blancos, por lo que siempre incluiremos una carta con estas manchas junto con el objeto que queramos fotografiar o escanear (no tiene por qué acompañar al objeto en la toma, pero sí ha de hacerse previamente para poder ajustar la exposición, la gamma, el balance de blancos y la amplitud tonal con que se digitalizará ese objeto. Además será parte de la descripción del objeto digitalizado junto con una carta de color estandarizada).

Por último, tanto en los programas de escaneado como en los de postproducción se puede modificar el tono mediante discos de color en los que podemos clicar para crear o corregir dominantes, o mediante cursores que se desplazan hacia un tono u otro, o incluso rellenando campos numéricos. Estas operaciones que afectan al color requieren tener perfectamente calibrados todos los medios que se empleen, y realizar una gestión de perfiles de color.

plo y exagerando, 80 valores definidos y llevamos éstos a ocupar todo el histograma, tendremos píxeles negros y blancos que antes no teníamos (y que no tienen por qué estar en el objeto original), pero de los 256 valores posibles, 176 son huecos que logran que veamos la imagen con saltos tonales.

Existe otra herramienta muy utilizada para la reproducción en el caso del escáner o postproducción de archivos RAW y TIFF a 16 bits (los archivos TIFF a 8 bits resulta más práctico considerarlos como archivos finales para imprenta, y de modo análogo los JPEG como archivos finales para pantalla) llamada «curvas». Estas son una representación de dos gamas de luminosidad: en el eje horizontal, desde el negro hasta el blanco, se sitúan los niveles de captura, y en el eje vertical, a la misma escala, los de salida (es decir, los que tendrá el archivo cuando se guarde o escanee). Cuando abrimos una imagen o la prevvisualiza un escáner, si mostramos su gráfica de curvas, ésta es un cuadrado con una línea diagonal a 45°. Si ponemos el negro en la esquina inferior izquierda, este tono se representa ahí mismo, estando en blanco en la esquina superior derecha. La eficacia de la herramienta curvas está en que podemos «cli-

Conclusiones

Debido a la mejora constante de las cámaras, los escáneres están empezando a ser herramientas muy especializadas para reproducciones concretas, utilizándose con preferencia cámaras fotográficas de alta calidad.

Las cámaras, en la medida que mejoren sus placas fotosensibles, tienen tres claras ventajas. Por un lado, el tiempo requerido para la digitalización de los objetos es mucho menor. Además permiten reproducir objetos bi- y tridimensionales indistintamente. En tercer lugar, con las cámaras podemos utilizar cualquier fuente de luz (ultravioleta, visible o infrarroja), determinar sus direcciones respecto al objeto y sus intensidades, así como polarizarlas.

Como se dijo al principio de este artículo, la intención no ha sido sustituir al manual de instrucciones de su cámara o escáner, sino que pueda entenderlo mejor.

Bibliografía

- BOUILLOT, R. (2005): Curso de Fotografía Analógica. Barcelona, Omega.
- BOUILLOT, R. (2005): Curso de Fotografía Digital. Barcelona, Omega.
- BOUILLOT, R. (2007): Curso de Tratamiento Digital de la Imagen. Barcelona, Omega.
- MELLADO, J.M. (2007): Fotografía Digital de Alta Calidad. Barcelona, Actual, S.L.
- GARCÍA BELCHIN, R. (1999): Guía de Reproducción digital del Color. España.
- PERES, MICHAEL R. (2007): Focal Encyclopedia of Photography. Burlington, Focal Press.
- DAVIES, A. y Fennessy, P. (2007): Tratamiento digital de la imagen para fotógrafos. Madrid. Anaya.