

---

# El sensor y la imagen digital

---

PID\_00266675

Antoni Marín Amatller

---

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 2 horas

---



**Antoni Marín Amatller**

Licenciado en Ciencias de la Educación (UAB, 1979), posgrado en Sistemas Interactivos Multimedia (UPC, 1993) y doctor en Sociedad de la Información y el Conocimiento (UOC, 2016). Desde el año 2000, es profesor de los EIMT de la UOC en las asignaturas de Fotografía digital, Vídeo, Composición digital, Animación, Creación de mundos virtuales y Media para videojuegos. En el ámbito de la investigación estudia la narrativa audiovisual en las redes sociales, especialmente la fotografía y el vídeo con dispositivos móviles y el uso de la narrativa creada con aplicaciones de realidad aumentada (*augmented storytelling*). Fue guionista y realizador de programas de televisión educativa en el Programa de Medios Audiovisuales del Departamento de Educación para el Canal 33. Además, trabajó en el diseño y la realización de cursos de formación ocupacional sobre tecnologías multimedia. Como fotógrafo, es miembro de AFOCER y de AFOTMIR. Ha participado en varias exposiciones de fotografía, tanto en la coordinación de grupos de trabajo de la UOC como en la realización de exposiciones a título individual.

Primera edición: septiembre 2019

© Antoni Marín Amatller

Todos los derechos reservados

© de esta edición, FUOC, 2019

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Realización editorial: FUOC

*Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea este eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares de los derechos.*



# Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Introducción al concepto de <i>sensor</i> y a los parámetros de la imagen digital.....</b>	<b>7</b>
<b>2. La fotografía: una continuidad de puntos.....</b>	<b>9</b>
2.1. Una referencia histórica .....	10
2.2. La fotografía analógica en blanco y negro .....	11
2.3. La fotografía analógica en color .....	12
2.4. La fotografía digital .....	13
<b>3. El sensor electrónico.....</b>	<b>16</b>
3.1. La resolución del sensor .....	16
3.2. Tamaño del sensor .....	17
3.3. Tipos de sensores .....	20
3.4. La formación del color y la matriz Bayer .....	23
3.5. Calidad de imagen y ruido .....	25
3.6. Fotografía computacional .....	26
3.7. El ruido .....	26
3.8. Profundidad de color .....	28
3.9. El RAW .....	28



## **Introducción**

En este módulo se comparan las características de la fotografía digital con las de la fotografía analógica. A continuación, se lleva a cabo un recorrido por las características del sensor electrónico y se analizan los principales parámetros de la imagen digital. Finalmente se describe el formato de negativo digital, el RAW.



## 1. Introducción al concepto de *sensor* y a los parámetros de la imagen digital

La irrupción de la tecnología digital en la fotografía ha significado cambios importantes en la tarea del fotógrafo. Los flujos de trabajo y los procedimientos que se aplican en fotografía varían constantemente, de acuerdo con la evolución tecnológica del medio. En pocos años se ha pasado de trabajar con emulsiones fotoquímicas a hacerlo con procedimientos digitales. No es difícil percibir las dos realidades, la fotografía clásica y la digital, como si fueran dos mundos totalmente diferentes separados por una brecha insalvable. Sin embargo, entre ambas hay una continuidad, un importante hilo conductor. La tecnología ha cambiado mucho y, sin lugar a dudas, existen innovaciones relevantes en fotografía que son resultado de esta evolución. Probablemente el lenguaje fotográfico ha evolucionado a otro ritmo y en él se mezclan actualmente nociones clásicas de la fotografía con nuevos parámetros que son resultado de la evolución de la sociedad de la información. Sin embargo, hay conocimientos y competencias relacionados con el lenguaje fotográfico que mantienen toda su importancia. La composición, el punto de vista de quien hace fotografía o el modo de plantearse los proyectos son aspectos que pueden verse influidos por nuevas capacidades tecnológicas. En el fondo, sin embargo, no dejan de solaparse con los temas clásicos, un motivo de conversación que actualmente está en los grupos de usuarios de la fotografía y que ya lo era años atrás.

La cámara digital aporta soluciones técnicas nuevas y diferentes respecto a la fotografía tradicional. De hecho, muchos expertos repiten que la digitalización de la fotografía la ha democratizado, es decir, que la ha hecho asequible prácticamente para todos. También cabe decir que, sin duda, de todos los dispositivos digitales capaces de captar imágenes, el móvil es el que más ha contribuido a esta democratización.

La tecnología digital aplicada a los dispositivos de captura a menudo permite hacer frente a problemas clásicos de la fotografía de forma innovadora; en muchas ocasiones, incluso genera nuevos procedimientos. Sin embargo, la comprensión de las funcionalidades de estos dispositivos y las nociones relativas al control de la luz y los principios derivados de la óptica siguen vigentes. Por este motivo es tan imprescindible que el fotógrafo las conozca. Al fin y al cabo, tanto con una cámara de negativo como con un dispositivo digital creamos imágenes poniendo en práctica el lenguaje de la fotografía.

Más allá de los dispositivos de captura, en los procedimientos digitales de edición también hallamos novedades importantes en cuanto al acabado de la imagen. A menudo se habla de *laboratorio digital* para hacer referencia a los procedimientos de trabajo fotográfico basados en información digital. Aunque



La digitalización ha democratizado la fotografía

el término *laboratorio* tenga alguna reminiscencia de los procedimientos que se utilizaban cuando la fotografía se manipulaba en un espacio con luz roja, ahora los procedimientos que se llevan a cabo incorporan nuevas e importantes posibilidades técnicas. Sin embargo, el clásico problema del tratamiento de la fotografía (el modo de reproducir la gama tonal, los contrastes y las texturas) sigue siendo la base de la forma de trabajar de quien hace fotografía.

## 2. La fotografía: una continuidad de puntos

La noción de fotografía digital se contrapone normalmente a la de fotografía analógica. Una está basada en información numérica, es decir, en dígitos, mientras que la otra se basa en información fotoquímica. Si bien es cierto que son diferentes, también lo es que tienen muchos puntos en común. En cuanto a la manera de formar la imagen, por ejemplo, ambas crean la fotografía final a partir de una continuidad de puntos: píxeles, en el caso de la fotografía digital, y granos de sales de plata, en el caso de la fotografía analógica.

### Fotografía clásica

Cabe decir que el término *fotografía analógica* no está aceptado por todos los autores, ya que algunos prefieren hablar de *fotografía clásica*. Estos términos, sin embargo, son equiparables, ya que ambos hacen referencia a la fotografía basada en procedimientos fotoquímicos.

Negativo escaneado



Xinjiang (2006)

La fotografía analógica se trabaja en el laboratorio con procesos fotoquímicos, mientras que la fotografía digital se lleva a cabo sobre dispositivos con capacidad de procesamiento informático. Aunque esto nos podría hacer pensar que el tratamiento digital de la imagen nació hace pocas décadas, teniendo

en cuenta la historia del tratamiento de la imagen deberíamos poder poner en duda esta afirmación. Veamos un aporte interesante de Manovich en este sentido.

Fotografía digital



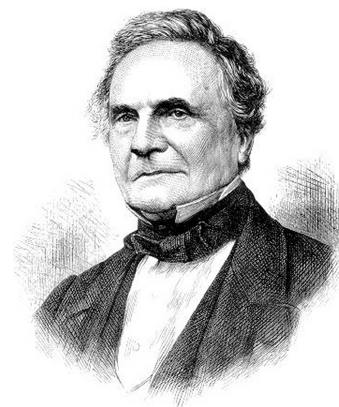
Xinjiang (2006)

## 2.1. Una referencia histórica

Actualmente pensamos en el ordenador o el móvil como dispositivos con capacidad de tratamiento informático de la imagen. Podríamos pensar, por tanto, que los procedimientos digitales en el procesado fotográfico se inician a finales del siglo xx. Sin embargo, Lev Manovich sitúa el inicio de estos procedimientos mucho antes. En *El lenguaje de los nuevos medios de comunicación* describe que, en realidad, el nacimiento de la fotografía y el de la informática fueron prácticamente coetáneos y los sitúa en el primer tercio del siglo xix.



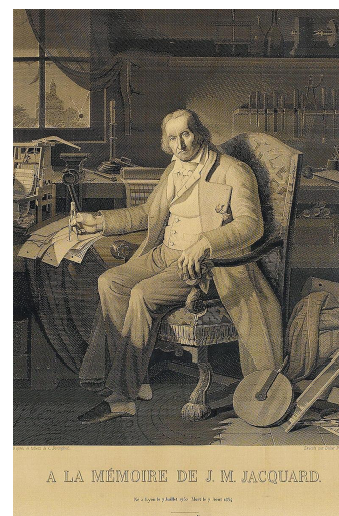
«En 1883, Charles Babbage comenzó a diseñar un aparato llamado la *máquina analítica*, que contenía la mayoría de las características principales del ordenador digital moderno. Empleaba fichas perforadas para la introducción de los datos y las instrucciones, una información que quedaba guardada en la memoria de la máquina [...]. Resulta interesante que Babbage tomara la idea de usar fichas perforadas para guardar la información de una máquina programada anteriormente. Hacia el 1800, Joseph-Marie Jacquard inventó un telar controlado automáticamente por fichas de papel perforadas. El telar se empleaba para tejer imágenes figurativas intrincadas, incluido el retrato del propio Jacquard. Así pues, fue un ordenador especializado en grafismo, por así decirlo, lo que inspiró a Babbage para trabajar en la máquina analítica, un ordenador general para cálculos numéricos [...]. No debería sorprendernos que las trayectorias del desarrollo de los medios modernos y de los ordenadores arranquen más o menos al mismo tiempo. Tanto los aparatos mediáticos como los informáticos resultaban del todo necesarios para el funcionamiento de las modernas sociedades de masas.»



Charles Babbage.  
Fuente: Wikipedia

Cuando nació la fotografía ya hacía tiempo que existía el telar de Jacquard. Evidentemente, en aquel momento nadie relacionó una cosa con la otra, pero la visión de Manovich permite retrasar bastantes décadas la relación entre la informática y la fotografía.

Retomemos la idea básica de este apartado: la concepción de la fotografía como una continuidad de puntos. Entender la fotografía como el resultado de una suma de elementos individuales (granos de plata o píxeles) permite crear analogías entre la copia en blanco y negro presentada en una exposición, la reproducción en color de un libro, la imagen que se transmite por teléfono móvil o la que aparece en la pantalla del ordenador. Todo son ejemplos de una misma realidad, que la fotografía es, a ojos del observador, un conjunto de tonos de color y niveles de brillo que se forma a partir de la continuidad de unidades discretas.

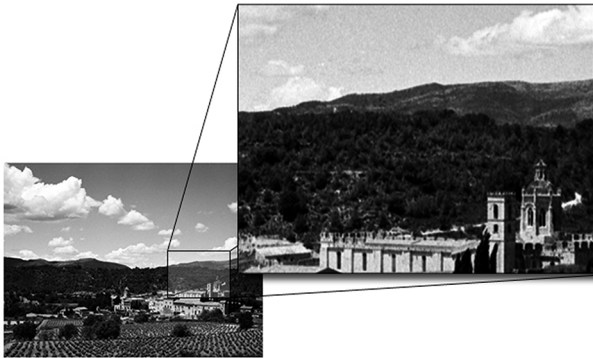


Portrait en soie tissée de Jacquard.  
Fuente: Wikipedia

## 2.2. La fotografía analógica en blanco y negro

Los granos de sales de plata son los elementos unitarios que crean la fotografía en blanco y negro. Su frecuencia de distribución genera la imagen que el observador percibe. A cierta distancia, cualquier fotografía en blanco y negro se ve como una continuidad de tonos, como múltiples variaciones de gris. Pero, si nos acercamos, veremos que la imagen está formada por un tapiz de puntos, los granos de las sales de plata, que se ennegrecen cuando la luz incide sobre ellos. Las gradaciones de grises en la fotografía en blanco y negro se obtienen a partir de la concentración de más o menos puntos.

La existencia del grano en la fotografía analógica en blanco y negro es evidente. Cada película presenta un grano particular y unas características diferentes en cuanto a la agrupación de las sales de plata.



Al ampliar un fragmento de la imagen podemos ver los granos de plata de la emulsión. De hecho, cuando se proyecta el negativo sobre el papel para hacer el positivado, se utiliza una lupa de enfoque que amplía la luz que viene del negativo y que permite ver los granos. Con la lupa aquello que en realidad se enfoca sobre el papel es la proyección del grano del negativo.



Lupa de enfoque



Ampliadora

### 2.3. La fotografía analógica en color

En la fotografía analógica en color, tanto si se parte de un negativo como de una diapositiva, pasa algo similar a la fotografía en blanco y negro: la creación de la imagen a partir de un tapiz de puntos. En este caso, en vez de una capa con sales de plata, hay tres con pigmentos de color. Cada una es sensible a uno de los colores primarios y, al combinarlos, se origina la imagen en color.

Si observamos esta fotografía desde una distancia determinada, veremos un continuo de tonos de color; si ampliamos el negativo, observaremos el conjunto de granos de la emulsión fotográfica.

En la fotografía en color, la ampliación de la imagen también evidencia el grano.



## 2.4. La fotografía digital

En la fotografía digital, la imagen final también reproduce la realidad mediante elementos diminutos. Si nos acercamos, observamos que la imagen está formada por millones de elementos que cumplen la misma función que los granos de plata en las emulsiones analógicas. En este caso, sin embargo, no son granos derivados de la sensibilización de sales de plata, sino píxeles originados a partir de un análisis numérico de la luz.

En los dos ejemplos que presentamos a continuación comparamos dos imágenes digitales de orígenes diferentes. La primera proviene de escanear una emulsión fotográfica, mientras que la segunda se ha obtenido directamente de una cámara digital. Podemos comprobar que, independientemente del origen, el resultado final es el mismo: una trama de píxeles.

La imagen superior fue captada con una cámara digital. La ampliación máxima hace visibles los píxeles que la forman. La imagen inferior procede de un negativo escaneado. También se pueden observar perfectamente los píxeles que la forman.



El escáner es un método que se utiliza para digitalizar imágenes, pero lo más habitual para obtener una fotografía digital es, obviamente, utilizar un dispositivo con un sensor capaz de analizar la luz. En ambos casos se parte de una realidad analógica que se interpreta numéricamente, es decir, se digitaliza. El escáner analiza una imagen analógica que puede encontrarse en soporte papel o en una película, mientras que el dispositivo fotográfico trabaja directamente con la luz de la escena. La realidad que podemos decir que siempre es analógica se interpreta de forma numérica cuando hacemos una fotografía digital. La imagen digital se compone de una matriz de píxeles que podemos observar en el monitor, almacenar en la memoria del ordenador, interpretar como minúsculos puntos de tinta sobre una superficie de papel o enviar por internet.

En resumen, podemos decir que la reproducción de una fotografía se basa en la percepción de infinidad de partículas que reproducen, en forma de una continuidad de puntos, las intensidades de la luz de una escena. Los píxeles de la fotografía digital son similares a los granos de cloruro de plata de la fotografía tradicional o a los puntos de tinta de la imagen impresa.



Escáner de negativos



Cámara digital



Teléfono móvil

Dos imágenes de una misma escena. La superior se ha captado con una cámara digital; la inferior se ha hecho con un negativo fotográfico y, posteriormente, se ha escaneado.

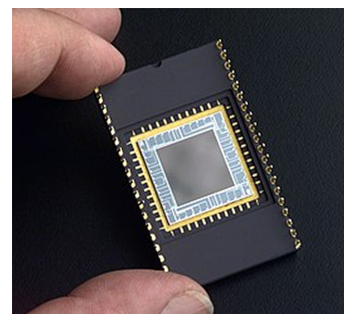




### 3. El sensor electrónico

El sensor electrónico es el elemento distintivo de la fotografía digital, el elemento básico que es capaz de analizar la luz de una escena e interpretarla numéricamente. Cada vez que pulsamos el disparador de una cámara ponemos en marcha unos procedimientos tecnológicos complejos en los que el sensor tiene un papel clave. El sensor presenta un área más o menos extensa de píxeles con capacidad para transformar en impulsos eléctricos la energía luminosa que se proyecta sobre él. La luz entra en la cámara a través de las lentes y se concentra sobre el sensor. Este dispositivo constituye, pues, el elemento que genera la imagen en la cámara digital. Se trata de una superficie rectangular con células sensibles a la luz, los píxeles. Son elementos microscópicos y se cuentan por millones. Un sensor de 40 megapíxeles, por ejemplo, está formado por 40 millones de estas células.

Cuando hacemos una fotografía, la luz atraviesa las lentes del dispositivo y llega al sensor, donde los píxeles transforman la luz en electricidad. Cuanto más intensidad de luz llega o más fotones inciden, más intensidad de electrones se genera. La señal eléctrica creada se transforma en valores numéricos y se digitaliza, por lo que se describen las intensidades de los tres canales primarios de la luz (RGB) en series de bits. Un sensor de 8 bits analiza la luz en valores entre 0 y 255 por cada canal. Uno de 12 bits lo hace en valores de 4.096 y uno de 14 bits en valores de 16.384 por cada uno de los canales primarios de la luz. Con la información digital extraída de todos los píxeles de un sensor se genera el archivo de imagen que se guarda en la memoria.

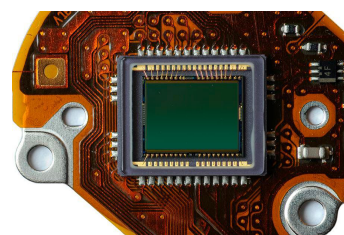


Sensor CCD. Fuente: Wikipedia

#### 3.1. La resolución del sensor

Normalmente sabemos qué resolución tiene una cámara o un móvil cuando compramos el dispositivo. Esta cifra indica el número de píxeles que contiene el sensor, un dato que determina las dimensiones máximas que tendrán los archivos generados. Un sensor puede ser, por ejemplo, de 16, 24 o 48 Mpx. El número de megapíxeles es un dato que va aumentando a medida que los dispositivos evolucionan, ya que la tecnología evoluciona rápidamente. La resolución de los sensores es un valor permanentemente al alza.

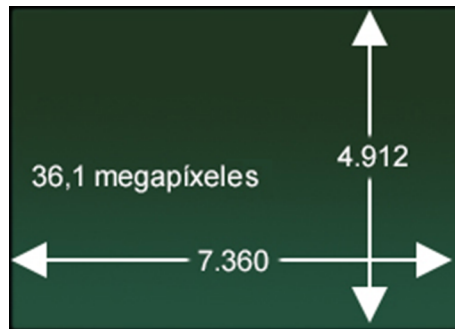
Los píxeles se distribuyen en columnas y filas en la superficie del sensor. La cantidad total de píxeles, es decir, la resolución del sensor, proviene de multiplicar el número de unidades de la esquina horizontal por la esquina vertical. Desde los sensores de los móviles hasta los sensores de las cámaras EVIL, réflex o de formato medio, el principio es el mismo. La resolución es el producto de la anchura por la altura.



Sensor. Fuente: Thomas Bresson, licencia CC

En la imagen anterior vemos un sensor integrado en la placa base de un dispositivo cualquiera. A continuación extraemos únicamente el sensor para utilizarlo como ejemplo para analizar el concepto de *resolución*. Imaginemos que se trata del sensor de un dispositivo fotográfico de 36,1 Mpx. En este caso habría 7.360 píxeles por el lado horizontal y 4.912 píxeles por el lado vertical.

Resolución de un sensor de 36,1 megapíxeles  
(7.360 × 4.912)



Si el sensor fuera de 45,4 Mpx, los parámetros serían de 8.256 × 5.504. Si fuera un sensor de 24,5 Mpx, los valores serían de 6.048 × 4.024.

### 3.2. Tamaño del sensor

La resolución es un dato importante en un sensor que debe considerarse conjuntamente con la medida. Una y otra están estrechamente relacionadas.

Hablamos del tamaño de un sensor para referirnos a los milímetros del lado horizontal y del lado vertical. Es decir, ahora hablamos de la superficie del sensor, un dato geométrico.

Existen varios tamaños en los sensores y, especialmente en los de móviles y compactas, su variabilidad es notable. Dentro de esta diversidad de tamaños, los valores en centímetros o milímetros son los más habituales.

Dejemos de lado las cámaras de formato medio, como las Hasselblad, que pertenecen al mercado profesional y son minoritarias entre los usuarios aficionados.

Cámara Hasselblad



Fuente: <https://hasselblad.com>

Si nos centramos en las cámaras réflex y las EVIL o sin espejo, encontramos dispositivos con sensores *full-frame*. Se denominan así porque son sensores que tienen las mismas medidas que el antiguo negativo de 35 mm, es decir, 24 × 36 mm.

Cámara Sony RX1



Fuente: Xatakafoto

Otro grupo también habitual tanto en cámaras réflex como en cámaras EVIL es el del sensor recortado. Se trata de un sensor de dimensiones inferiores al negativo de 35 mm. Existen varios tipos. Las APS-C, por ejemplo, tienen unas dimensiones de 23,6 × 15,6 mm.



## Cámara Canon EOS 60D



Fuente: Wikipedia

Un tercer grupo de sensores bastante habitual es el de los sensores de cuatro tercios (4:3). Desarrollados inicialmente por Olympus, constituyen un grupo de cámaras que no son ni muy grandes ni muy pesadas, pero de muy buena calidad.

Las medidas anteriores (*full-frame*, sensor recortado y cuatro tercios) corresponden, en general, a cámaras réflex y EVIL. Dentro de este segmento las dimensiones de los sensores son fácilmente agrupables en las tres categorías descritas. Ahora bien, cuando pasamos al sector de las cámaras compactas y los móviles, la variabilidad de tamaños y resoluciones de los sensores es bastante más alta.

Cámara Olympus  
Fuente: Wikipedia

## Sensor de cámara compacta



Fuente: Computer Hoy

Como podemos comprobar, la variabilidad de tamaños de los sensores es alta. A continuación mostramos un gráfico con la comparativa de dimensiones de los sensores que hemos comentado.

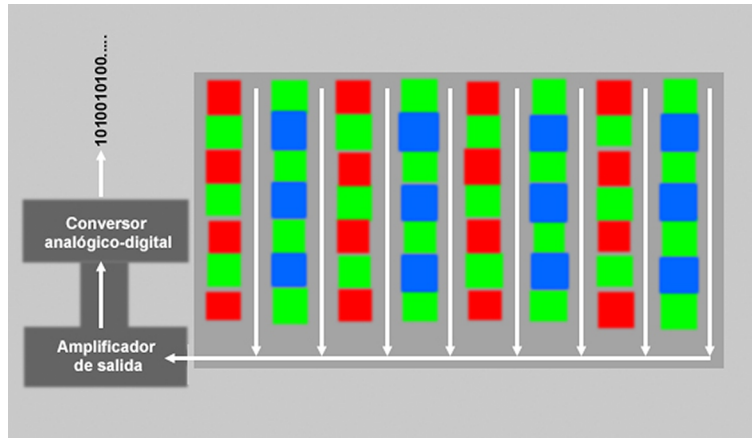


### 3.3. Tipos de sensores

En este subapartado desarrollaremos los diferentes tipos de sensores que podemos encontrar en los dispositivos. Aunque no son los únicos, podemos hablar de tres tipos que se han incorporado a las cámaras desde el inicio de su uso hasta la actualidad. El tipo CMOS prácticamente ha ganado la batalla al resto, ya que hoy es el tipo de sensor que casi podría considerarse universal.

El *charge coupled device* (CCD) tiene su origen en 1969 en los estudios de Boyle y Smith, en los que trabajaban para capturar imágenes a partir de la carga eléctrica que se genera sobre un píxel cuando incide la luz. En 2009, los dos autores recibieron el Nobel de Física. En resumen, podemos decir que los píxeles de un sensor CCD generan una carga eléctrica proporcional al número de fotones que reciben. Esta información se envía a un amplificador de salida y, de este, a un convertor analógico y digital que describe en forma de dígitos las intensidades de luz.

Esquema de un sensor CCD

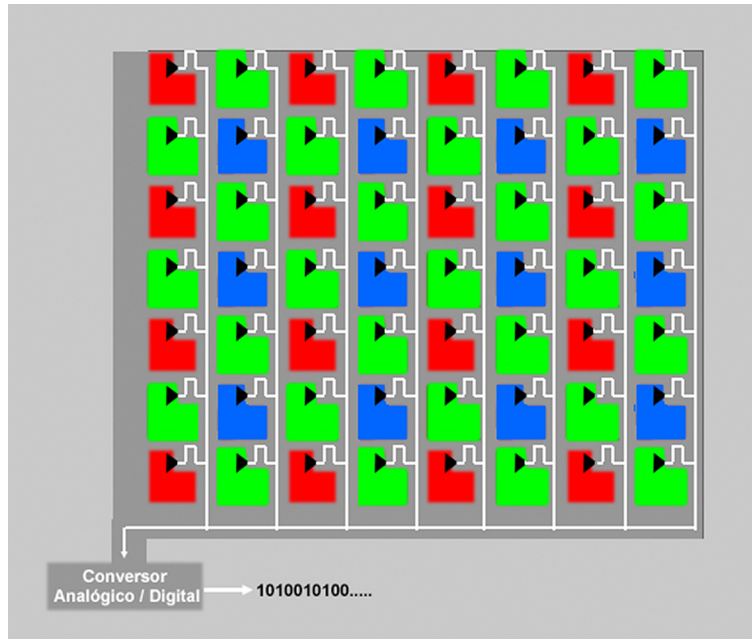


El segundo tipo de sensores, los CMOS (*complementary metal oxide semiconductor*) también tienen un origen temporal similar a los CCD. Entre 1968 y 1969 se hicieron los primeros estudios y pruebas tecnológicas. La diferencia principal respecto a los CCD es que en este caso la etapa amplificadora de la señal se encuentra en el mismo píxel. Esto provoca ventajas y desventajas que, dicho sea de paso, han evolucionado con el tiempo.

Con la tecnología de las últimas décadas del siglo XX, la fabricación de los CMOS era más inestable y la producción de los CCD resultaba más viable para la época. Esto hizo que, hasta el cambio de siglo, el mercado de los sensores estuviera dominado por los CCD. Pero con la entrada de los 2000 tuvo lugar una inflexión y la preponderancia que hasta entonces habían tenido los CCD se fue decantando hacia los CMOS. Actualmente estos son los que ocupan prácticamente la totalidad del mercado.

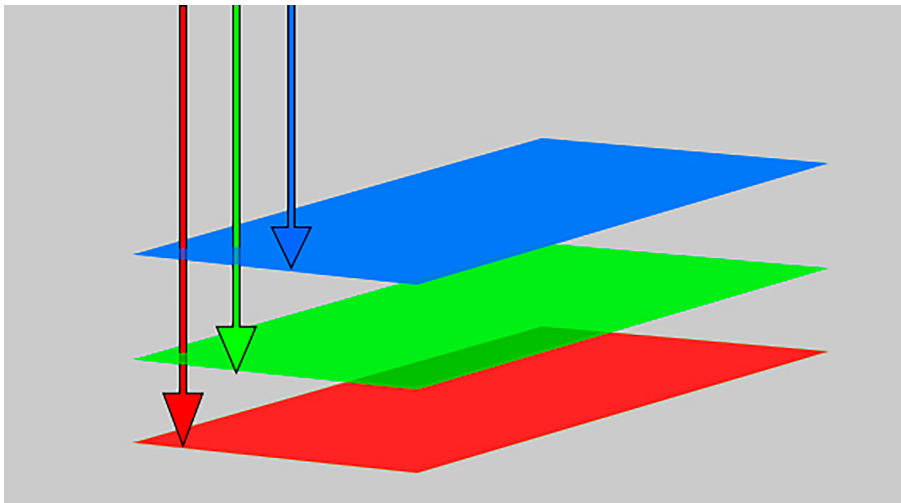
Una de las primeras razones del éxito inicial de los CCD era que presentaban una mejor reproducción del color. En los CMOS hay menos superficie para captar la luz porque hay que acomodar también el amplificador electrónico, pero con las mejoras en el proceso de producción este factor fue dejando de tener una importancia significativa. Actualmente los CMOS generan menos ruido, permiten trabajar en ISO más altas, tienen un rango dinámico más elevado y resultan más económicos de fabricar. Son los sensores que encontramos en la mayoría de los dispositivos actuales.

Esquema de un sensor CMOS



El tercer tipo de sensores son los Foveon. La compañía que los fabrica se originó en 1977 con el objetivo de investigar y desarrollar sensores con píxeles capaces de captar de manera diferencial la intensidad de las tres luces primarias (RGB). Parten de un modelo CMOS y, como estos, tienen una preamplificación electrónica en cada píxel. Además, se basan en las capacidades del silicio y presentan una estructura en profundidad. De esta manera aprovechan que las tres luces tienen una capacidad de penetración diferente en este material para analizarlas diferenciadamente. Así, el azul llega solamente a una capa superficial, el verde penetra hasta la mitad del píxel y el rojo es el que llega a más profundidad. De esta manera se puede analizar la intensidad de cada una de las luces. Una de las consecuencias es que un sensor Foveon puede tener más resolución.

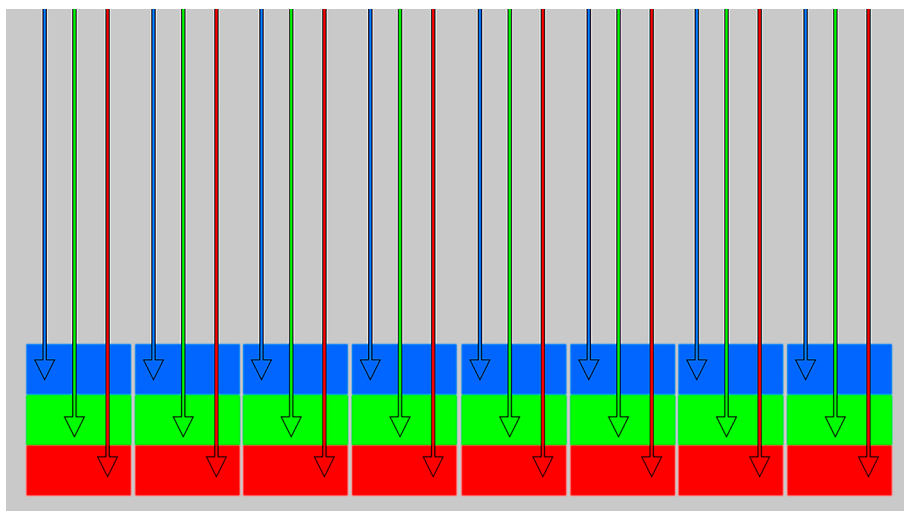
Los sensores Foveon se basan en la diferente capacidad de penetración de cada componente de la luz en el silicio.



### Fracaso comercial de Foveon

Sin embargo, Sigma es la única compañía que ha apostado por este sensor en cámaras como las SD9 y la dp2, por lo que deberíamos decir que Foveon no ha tenido éxito comercial. Entre los problemas de estos sensores está el hecho de que generan mucho ruido, incluso en ISO bajas como la 400. Tener que trabajar en ISO 100 limita la utilización de este sensor en la fotografía de paisaje y de estudio, y prácticamente hace inviable su uso en especialidades como los deportes o la fotografía nocturna. Tampoco permiten grabar vídeo. Finalmente, hay que apuntar que no tienen un soporte para los archivos que generan desde los programas reveladores de RAW (Lightroom, Camera Raw, RAWTherapee, Capture One, Phase one...). Los algoritmos de trabajo de todos estos programas parten de la base que deben interpretar un mosaico de píxeles verdes, azules o rojos. No prevén que los píxeles tengan los tres componentes. Sin embargo, cabe decir que Sigma ha desarrollado un software para convertir los archivos Foveon a DNG y contabilizarlos, por tanto, con los reveladores de RAW.

En un sensor Foveon, cada componente de la luz (RGB) penetra hasta la capa correspondiente.



### 3.4. La formación del color y la matriz Bayer

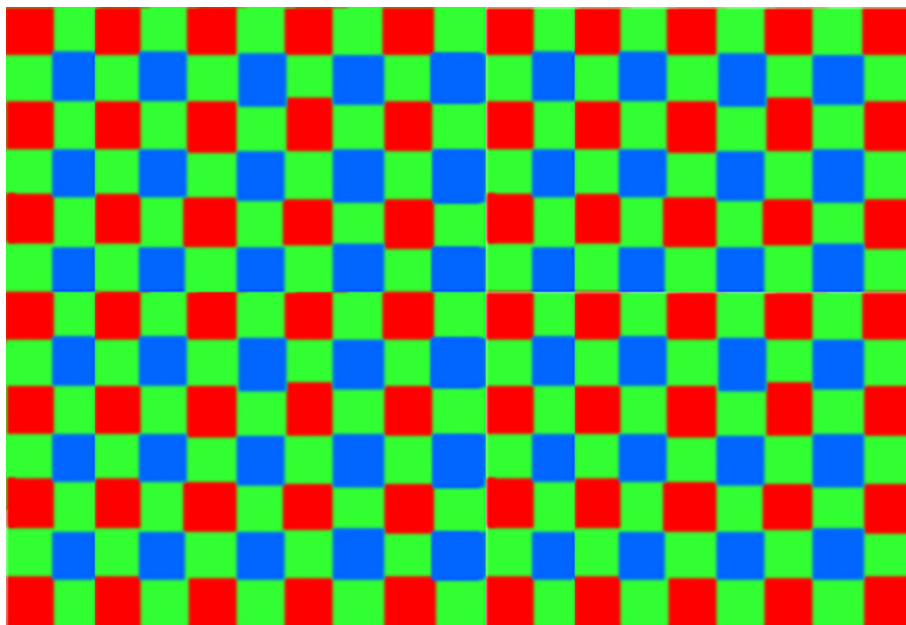
Excepto en el caso de los sensores Foveon, los píxeles solo son sensibles a la intensidad lumínica de la luz que les llega. Al ser estimulados, generan un voltaje que es proporcional a la cantidad de fotones recibida, independientemente del color predominante en una luz. Podemos decir que el sensor es monocromo, es decir, que no distingue el color. Entonces, ¿cómo fotografiamos en color?

Para lograr discriminar los colores se aplica la matriz Bayer. Sobre cada uno de los píxeles se coloca un filtro que deja pasar únicamente uno de los componentes primarios de la luz. De este modo, al píxel solo le llega una intensidad determinada de luz roja, azul o verde.

La distribución de los filtros no es uniforme. Hay un 25 % de azul, un 25 % de rojo y un 50 % de verde. El patrón responde al hecho de que el ojo humano tiene más sensibilidad para discriminar las variaciones del color verde. Esta distribución es la llamada **matriz Bayer**.

En la figura se puede observar cómo se distribuye el mosaico de tonos en un sensor.

En la matriz Bayer hay un 25 % de fotodiodos destinados a captar el azul, un 25 % destinados al rojo y un 50 % al verde.



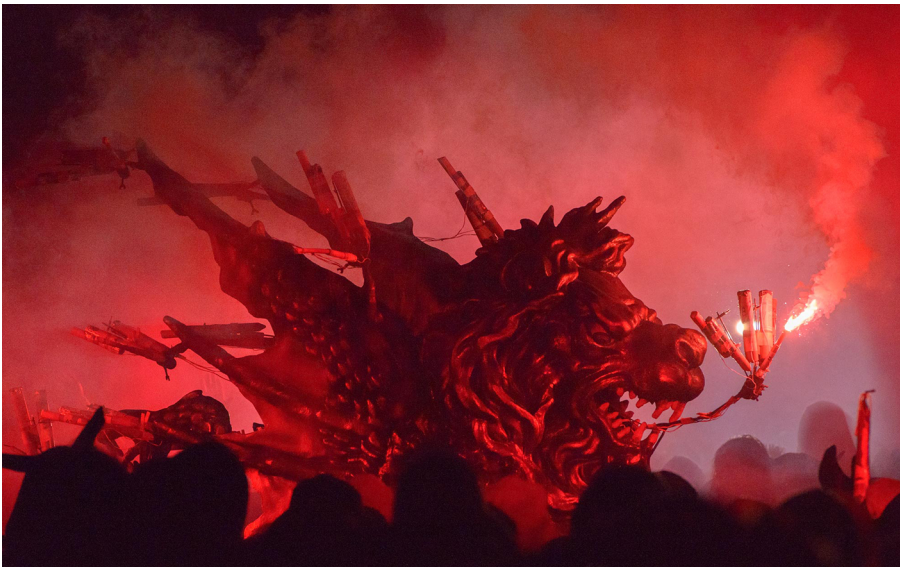
Un píxel realiza una lectura directa de uno de los colores ( $R$ , por ejemplo). A partir de ahí, los otros dos colores se calculan por interpolación. En base a los valores que tienen  $G$  y  $B$  en los píxeles cercanos se deduce matemáticamente el valor que pueden tener en el píxel en cuestión. Así, a la lectura directa del valor  $R$  también se dan las lecturas interpoladas de los valores  $G$  y  $B$ .

Los algoritmos de cálculo se pueden encontrar en el mismo software de la cámara cuando disparamos en JPG o en programas como Lightroom, Camera Raw o Capture One en la etapa del revelado. El color que obtenemos, por tanto, no es el resultado de un análisis directo de la luz, sino de un muestreo de colores calculado por interpolación.

En este proceso se da una cierta pérdida de nitidez, especialmente cuando hay transiciones bruscas entre colores, y es fácil que aparezca un efecto muaré en el color o pérdidas de detalle cuando hay un color que predomina mucho más que los demás.



La quimera de El Escaldàrium de Caldes de Montbui está iluminada prácticamente solo con luz roja. En consecuencia, se produce una pérdida de definición en el detalle de la cara.

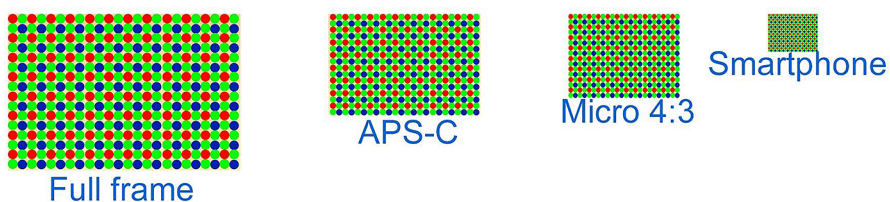


### 3.5. Calidad de imagen y ruido

Hasta ahora hemos hablado de la resolución y de las medidas del sensor. En este subapartado relacionaremos estos dos parámetros para hablar de la calidad.

Para empezar, hay que aclarar que más resolución no implica mayor calidad de imagen, sino que una resolución elevada implica una imagen más grande, no necesariamente mejor que otra más pequeña. La calidad tiene más relación con el tamaño del píxel y las bondades de los algoritmos para el procesamiento de la imagen que con el total de píxeles de un sensor. Hablamos, por tanto, del tamaño del píxel.

Tomemos como ejemplo los cuatro formatos de sensor que hemos visto antes: *full-frame*, APS-C, Micro 4:3 y teléfono inteligente. Los mostramos en la figura a modo de ejemplo. Reproducimos en cada uno la matriz Bayer y suponemos que llenamos la superficie con el mosaico de píxeles que se muestra en el gráfico. Todos tienen la misma resolución:  $16 \times 24 = 384$ . En este ejemplo, por tanto, estaríamos hablando de una resolución de 384 píxeles. Podemos hacer la analogía con los megapíxeles que sean necesarios. Lo importante es que en los cuatro sensores la resolución es la misma, pero en el sensor *full-frame* los píxeles son más grandes que en la APS-C, mucho más grandes que en el Micro 4:3 y extraordinariamente más grandes que en el teléfono inteligente.



Que un píxel sea más o menos grande determina la cantidad de fotones que puede recibir, es decir, la cantidad de luz que puede analizar y representar. Cuanto mayores sean los píxeles de un sensor, más nitidez, claridad y calidad tendrá la imagen que generarán. Pueden recoger más luz y, por tanto, obtener una señal más limpia.

### 3.6. Fotografía computacional

Si solo nos centramos en el tamaño del sensor, del apartado anterior podríamos extraer la conclusión de que un teléfono inteligente es el dispositivo con menos calidad de imagen. Sin embargo, por experiencia sabemos que esto no es así y que una fotografía hecha con el móvil puede tener una calidad muy alta. Los móviles cada vez ofrecen imágenes más buenas, que en muchos casos superan las de las cámaras compactas equipadas con sensores de superficies de mayores dimensiones. Aparte de los factores tradicionales, en los móviles hay nuevos parámetros.

Hasta hace un tiempo una fotografía digital era el resultado, básicamente, de la óptica y el sensor; el software intervenía sobre todo en la fase de revelado. Desde hace un tiempo, sin embargo, esto ya no es así. El software también interviene, de diferentes maneras, en la captura de la imagen y permite incrementar notablemente la calidad. Esta es una de las características de lo que se conoce como *fotografía computacional*, algo que se ha desarrollado en gran medida en los móviles. Por un lado, tiene la finalidad de emular, mediante el software y el hardware, procedimientos que son propios de cámaras réflex o EVIL. Por otro, mejora significativamente las prestaciones del dispositivo durante la captura de la imagen. Procedimientos como la profundidad de campo reducida, la reducción del ruido o el trabajo combinado de las lentes son cada día más habituales en los dispositivos móviles. De todos modos, las cámaras réflex, EVIL o compactas también van incorporando procedimientos de este tipo.

### 3.7. El ruido

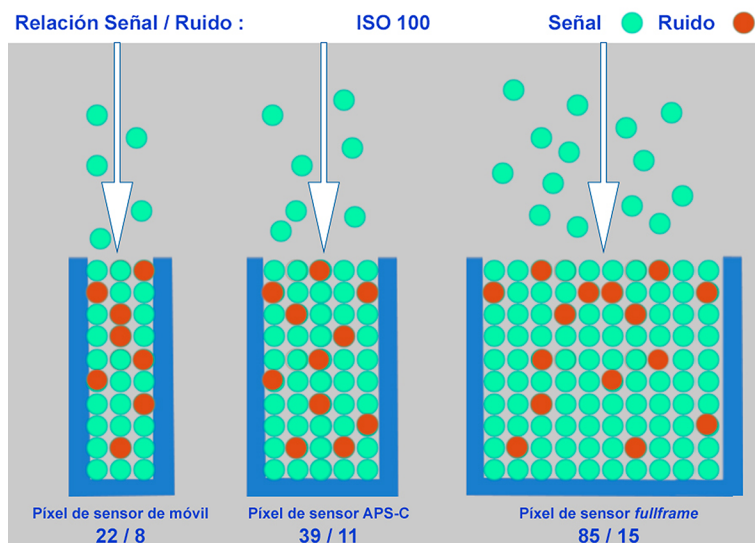
Se conoce como *ruido* la aparición aleatoria de alteraciones en el brillo o los colores de una imagen digital. Este fenómeno se produce en el dispositivo durante la captura y es resultado del funcionamiento del sensor.

En cierto modo podemos establecer un cierto paralelismo entre el grano de la fotografía analógica y el ruido de la digital. Pero mientras que el grano, que era propio de cada emulsión, era aceptado, el ruido de la fotografía digital se considera antiestético y se procura evitar siempre, porque es señal de una mala fotografía.

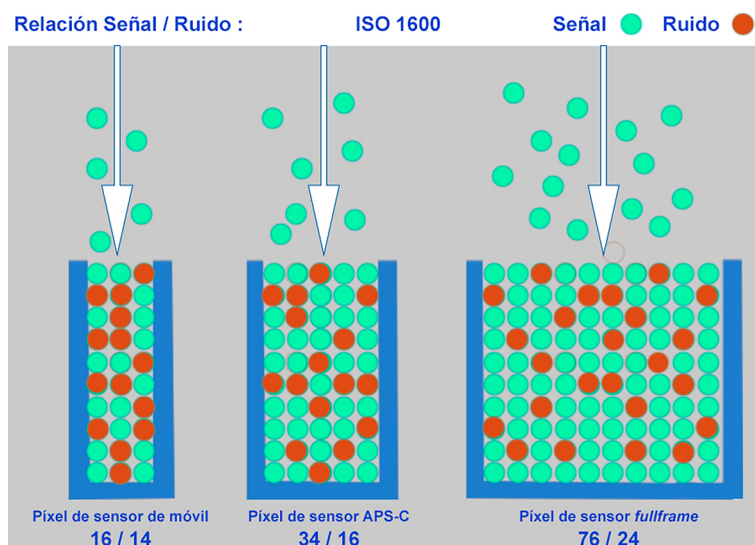


El ruido digital tiene mucho que ver con el tamaño de los píxeles de un sensor y con la sensibilidad ISO a la que se trabaja. En la figura se presenta un ejemplo de cómo se relaciona el ruido con las dimensiones del píxel. Representamos en rojo la información que se puede generar según un cierto nivel de producción de ruido y en verde la información que se genera a partir de los fotones que inciden sobre el sensor. Es evidente que cuanto mayor es un píxel más fotones podrá captar. Podemos ver claramente que la proporción entre ambos parámetros es más alta cuando el píxel es pequeño. La relación entre señal y ruido tiene mucho que ver con las dimensiones del sensor y de los píxeles que lo componen.

Las dimensiones del píxel son determinantes en la relación señal/ruido. La generación de ruido es inversamente proporcional al tamaño del píxel.



A valores ISO elevados, mayor generación de ruido en todos los casos. Pero también aquí el tamaño del píxel condiciona significativamente la relación. Cuanto mayor es el píxel menor será la relación señal/ruido.



También hay que señalar que, cuando se incrementa la ISO, sube el nivel de ruido generado por el sensor. Con ISO altos, por tanto, la relación entre señal y ruido se incrementa.

En cierto modo, entendemos el ruido como información inútil y distorsionadora que aparece en forma de puntos o de manchas que interfieren negativamente en la nitidez de la imagen. Las alteraciones aleatorias de brillo y color deben evitarse o minimizarse al máximo.

### **3.8. Profundidad de color**

Hasta ahora hemos visto que, como resultado de la incidencia de la luz sobre el sensor electrónico, se producen intensidades variables de voltaje en cada uno de los píxeles y que estas intensidades se traducen en información numérica cuando se digitaliza. Lo mismo ocurre al escanear un negativo, una diapositiva o una copia en papel. La luz que llega al sensor del escáner genera diversas intensidades de voltaje en cada uno de los píxeles.

La profundidad de color es un concepto de los gráficos por ordenador que se refiere a la cantidad de bits de información necesaria para representar el color de un píxel en una imagen digital. Los valores altos se relacionan con la riqueza en la reproducción de los tonos, mientras que los valores bajos implican una reproducción más pobre. Veamos el número de tonos que se pueden reproducir con diferentes profundidades de color:

- 8 bits = 256 tonos
- 12 bits = 4.096 tonos
- 14 bits = 16.384 tonos
- 16 bits = 65.536 tonos

Los sensores electrónicos suelen trabajar actualmente con 12 o 14 bits. Es evidente que cuanto más elevado sea este parámetro, más capacidad y riqueza tendrá el sensor para reproducir los tonos. Durante la edición trabajamos habitualmente con 8 o 16 bits. También hay que relacionar la profundidad de bit o de color con la degradación de la imagen durante los procedimientos que podamos aplicar.

### **3.9. El RAW**

Hasta ahora hemos visto de qué manera el sensor analiza la información lumínica que le llega y cómo la digitaliza. A continuación describiremos cómo se guarda esta información, es decir, el RAW.

Un RAW es información en bruto y hace referencia a la información original de la luz que llega al sensor. Es información sin procesar, es decir, tener el RAW es como encontrarse delante de la luz en el momento de hacer la foto.

Posteriormente, esta información se debe procesar. Es lo que hacen los reveladores de RAW cuando editan en el ordenador o lo que hace el software de la cámara cuando nos muestra una imagen en el visor de la cámara.

Al procesar el RAW con el revelador de RAW obtenemos una imagen procesada, es decir, una versión o una interpretación particular que hacemos de la situación original. Una imagen procesada puede ser un PSD, un TIF, un JPG o un PNG. Interpretar un RAW significa llevar a cabo un determinado ajuste de temperatura de color, adjudicar a cada píxel valores de intensidad concretos para cada uno de los tres canales RGB. Estos datos se comprimen y se guardan en un archivo (.psd, .tif, .jpg, .png). Ahora, sin embargo, ya no disponemos de la información que ha llegado al sensor, sino que tenemos una interpretación particular. Por eso es tan importante conservar los RAW y poder recurrir siempre que sea necesario a la información original.

#### Edición no destructiva

El RAW permite una edición no destructiva, es decir, podemos hacer las interpretaciones que queramos durante la edición pero siempre serán reversibles. Salvo que borremos el archivo RAW, siempre dispondremos de la información en bruto que ha recogido la cámara en el momento de tomar la fotografía.

Captura original de la playa de Cap Roig en RAW



Una interpretación en JPG de la playa de Cap Roig a partir del RAW original



Otra interpretación en JPG de la playa de Cap Roig a partir del RAW original

