
El sensor i la imatge digital

PID_00266674

Antoni Marín Amatller

Temps mínim de dedicació recomanat: 2 hores



Antoni Marín Amatller

Llicenciat en Ciències de l'Educació (UAB, 1979), postgrau en Sistemes Interactius Multimèdia (UPC, 1993) i doctor en Societat de la Informació i el Coneixement (UOC, 2016). Des de l'any 2000, és professor dels EIMT de la UOC en les assignatures de Fotografia digital, Vídeo, Composició digital, Animació, Creació de mons virtuals i Mèdia per a videojocs. Com a àmbit de recerca treballa sobre la narrativa audiovisual a les xarxes socials, especialment sobre la fotografia i el vídeo amb dispositius mòbils i sobre l'ús de la narrativa creada amb aplicacions de realitat augmentada (*augmented storytelling*). Va ser guionista i realitzador de programes de televisió educativa en el Programa de Mitjans Audiovisuals del Departament d'Ensenyament per al Canal 33. A més, va treballar en el disseny i la realització de cursos de formació ocupacional sobre tecnologies multimèdia. Com a fotògraf, és membre d'AFOCER i d'AFOTMIR. Ha participat en diverses exposicions de fotografia, tant en la coordinació de grups de treball de la UOC com en la realització d'exposicions a títol individual.

Primera edició: setembre 2019

© Antoni Marín Amatller

Tots els drets reservats

© d'aquesta edició, FUOC, 2019

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Realització editorial: FUOC

Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny general i la coberta, no pot ser copiada, reproduïda, emmagatzemada o transmesa de cap manera ni per cap mitjà, tant si és elèctric com químic, mecànic, òptic, de gravació, de fotocòpia o per altres mètodes, sense l'autorització prèvia per escrit dels titulars dels drets.

Índex

Introducció.....	5
1. Introducció al concepte de sensor i als paràmetres de la imatge digital.....	7
2. La fotografia: una continuïtat de punts.....	9
2.1. Una referència històrica	10
2.2. La fotografia analògica en blanc i negre	11
2.3. La fotografia analògica en color	12
2.4. La fotografia digital	13
3. El sensor electrònic.....	16
3.1. La resolució del sensor	16
3.2. Mida del sensor	17
3.3. Tipus de sensors	20
3.4. La formació del color i la matriu Bayer	24
3.5. Qualitat d'imatge i soroll	25
3.6. Fotografia computacional	26
3.7. El soroll	27
3.8. Profunditat de color	28
3.9. El RAW	29

Introducció

En aquest mòdul es comparen les característiques de la fotografia digital amb les de la fotografia analògica. A continuació, es fa un recorregut per les característiques del sensor electrònic i s'analitzen els principals paràmetres de la imatge digital. Finalment, es descriu el format de negatiu digital, el RAW.

1. Introducció al concepte de sensor i als paràmetres de la imatge digital

La irrupció de la tecnologia digital en la fotografia ha significat canvis importants en la tasca del fotògraf. Els fluxos de treball i els procediments que s'apliquen en fotografia varien constantment, d'acord amb l'evolució tecnològica del mitjà. En pocs anys s'ha passat de treballar amb emulsions fotoquímiques a fer-ho amb procediments digitals. No és difícil percebre les dues realitats, la fotografia clàssica i la digital, com si fossin dos mons totalment diferents separats per una bretxa insalvable. No obstant això, entre totes dues hi ha una continuïtat, un important fil conductor. La tecnologia ha canviat molt i sense cap mena de dubte, hi ha innovacions rellevants en fotografia que són resultat d'aquesta evolució. Probablement el llenguatge fotogràfic ha evolucionat a un altre ritme i en ell s'hi barregen actualment nocions clàssiques de la fotografia amb nous paràmetres que són resultat de l'evolució de la societat de la informació. Tot i això, hi ha coneixements i competències relacionades amb el llenguatge fotogràfic que mantenen tota la seva importància. La composició, el punt de vista de qui fa fotografia o la manera que té de plantejar-se els projectes són aspectes que poden veure's influïts per noves capacitats tecnològiques. En el fons, però, no deixen d'encavallar-se en els temes clàssics, que són motiu de conversa actualment en els grups d'usuaris de la fotografia i que ja ho eren anys enrere.

La càmera digital aporta solucions tècniques noves i diferents respecte de la fotografia tradicional. De fet, molts experts repeteixen que la digitalització de la fotografia l'ha democratitzat, és a dir, que l'ha fet assequible pràcticament per a tothom. També val a dir que, sens dubte, de tots els dispositius digitals capaços de captar imatges, el mòbil és el que més ha fet per aquesta democratització.

La tecnologia digital aplicada als dispositius de captura sovint permet fer front a problemes clàssics de la fotografia d'una manera innovadora; en moltes ocasions, fins i tot genera nous procediments. No obstant això, la comprensió de les funcionalitats d'aquests dispositius i les nocions relatives al control de la llum i als principis derivats de l'òptica segueixen vigents. Per aquest motiu és tan imprescindible que el fotògraf les conegui. Al cap i a la fi, tant amb una càmera de negatiu com amb un dispositiu digital creem imatges posant en pràctica el llenguatge de la fotografia.

Més enllà dels dispositius de captura, en els procediments digitals d'edició també trobem novetats importants pel que fa a l'acabat de la imatge. Sovint es parla de *laboratori digital* per fer referència als procediments de treball fotogràfic basats en informació digital. Tot i que el terme *laboratori* tingui alguna reminiscència dels procediments que es feien servir quan la fotografia es ma-



La digitalització ha democratitzat la fotografia

nipulava en un espai amb llum vermella, ara els procediments que es duen a terme incorporen noves i importants possibilitats tècniques. No obstant això, el clàssic problema del tractament de la fotografia (la manera de reproduir la gamma tonal, els contrastos i les textures) continua sent la base de la manera de treballar de qui fa fotografia.

2. La fotografia: una continuïtat de punts

La noció de fotografia digital es contraposa normalment a la de fotografia analògica. L'una està basada en informació numèrica, és a dir, en díigits, mentre que l'altra es basa en informació fotoquímica. Si bé és cert que són diferents, també ho és que tenen molts punts en comú. Pel que fa a la manera de formar la imatge, per exemple, les dues creen la fotografia final a partir d'una continuïtat de punts: píxels en el cas de la fotografia digital, grans de sals de plata en el cas de la fotografia analògica.

Fotografia clàssica

Val a dir que el terme *fotografia analògica* no és acceptat per tots els autors, ja que alguns prefereixen parlar de *fotografia clàssica*. Aquests termes, però, són equiparables, ja que tots dos fan referència a la fotografia basada en procediments fotoquímics.

Negatiu escanejat



Xinjiang (2006)

La fotografia analògica es treballa al laboratori amb processos fotoquímics, mentre que la fotografia digital es duu a terme sobre dispositius amb capacitat de processament informàtic. Tot i que això ens podria fer pensar que el tracta-

ment digital de la imatge va néixer fa ben poques dècades, tenint en compte la història del tractament de la imatge hauríem de poder posar en dubte aquesta afirmació. Vegem una aportació interessant de Manovich en aquest sentit.

Fotografia digital

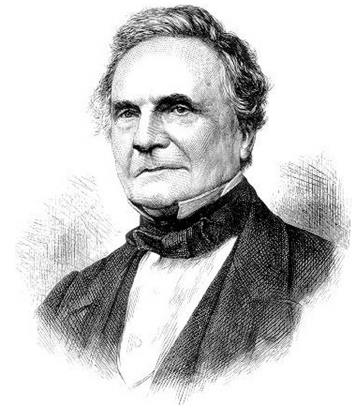


Xinjiang (2006)

2.1. Una referència històrica

Actualment pensem en l'ordinador o el mòbil com a dispositius amb capacitat de tractament informàtic de la imatge. Podríem pensar, per tant, que els procediments digitals en el processat fotogràfic s'inicien a finals del segle XX. Lev Manovich, però, situa l'inici d'aquests procediments molt abans. A *El llenguatge dels nous mitjans de comunicació* descriu que, en realitat, el naixement de la fotografia i el de la informàtica van ser pràcticament coetanis i els situa en el primer terç del segle XIX.

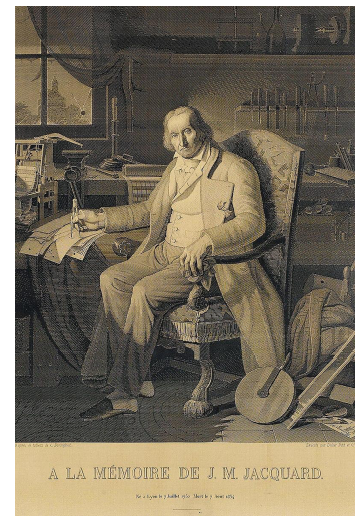
«El 1883 Charles Babbage va començar a dissenyar un aparell que va anomenar la *màquina analítica*, i que contenia la majoria de les característiques principals de l'ordinador digital modern. Emprava fitxes perforades per a la introducció de les dades i les instruccions, una informació que quedava guardada en la memòria de la màquina [...]. Resulta interessant que Babbage prengué la idea d'usar fitxes perforades per a guardar la informació d'una màquina programada anteriorment. Cap al 1800, Joseph-Marie Jacquard va inventar un teler que es controlava automàticament per fitxes de paper perforades. El teler s'emprava per a teixir imatges figuratives intrincades, inclòs el retrat del mateix Jacquard. Va ser, doncs, un ordinador especialitzat en grafisme, per dir-ho així, el que va inspirar a Babbage el seu treball a la màquina analítica, un ordinador general per a càlculs numèrics [...]. No ens hauria de sorprendre que les trajectòries del desenvolupament dels mitjans moderns i el dels ordinadors arrenquin més o menys alhora. Tant els aparells mediàtics com els informàtics resultaven del tot necessaris per al funcionament de les modernes societats de masses.»



Charles Babbage.
Font: Viquipèdia

Quan va néixer la fotografia ja feia un temps que existia el teler de Jacquard. Evidentment, en aquell moment ningú va relacionar una cosa amb l'altra, però la visió de Manovich permet endarrerir força dècades la relació entre informàtica i fotografia.

Tornem a la idea bàsica d'aquest apartat: la concepció de la fotografia com una continuïtat de punts. Entendre la fotografia com el resultat d'una suma d'elements individuals (grans de plata o píxels) permet crear analogies entre la còpia en blanc i negre penjada en una exposició, la reproducció en color d'un llibre, la imatge que es transmet per telèfon mòbil o la que apareix a la pantalla de l'ordinador. Tot són exemples d'una mateixa realitat, que la fotografia és, a ulls de l'observador, un conjunt de tons de color i nivells de brillantor que es forma a partir de la continuïtat d'unitats discretes.



Portrait en soie tissée de Jacquard.
Font: Viquipèdia

2.2. La fotografia analògica en blanc i negre

Els grans de sals de plata són els elements unitaris que creen la fotografia en blanc i negre. La seva freqüència de distribució genera la imatge que l'observador percep. A una certa distància, qualsevol fotografia en blanc i negre es veu com una continuïtat de tons, com múltiples variacions de gris. Si ens hi apropem, però, veurem que la imatge està formada per un tapís de punts, els grans de les sals de plata, que s'ennegreixen quan la llum hi incideix. Les gradacions de grisos en la fotografia en blanc i negre s'obtenen a partir de la concentració de més o menys punts.

L'existència del gra en la fotografia analògica en blanc i negre és evident. Cada pel·lícula presenta un gra particular i unes característiques diferents pel que fa a l'agrupació de les sals de plata.



En ampliar un fragment de la imatge, podem veure els grans de plata de l'emulsió. De fet, quan es projecta el negatiu sobre el paper per fer el positiu, es fa servir una lupa d'enfocament que amplia la llum que ve del negatiu i que permet veure'n els grans. Amb la lupa, el que en realitat s'enfoca sobre el paper és la projecció del gra del negatiu.



Lupa d'enfocament



Ampliadora

2.3. La fotografia analògica en color

En la fotografia analògica en color, tant si es parteix d'un negatiu com d'una diapositiva, passa quelcom similar a la fotografia en blanc i negre: la creació de la imatge a partir d'un tapís de punts. En aquest cas, en comptes d'una capa amb sals de plata, n'hi ha tres amb pigments de color. Cada una és sensible a un dels colors primaris i, en combinar-los, s'origina la imatge en color.

Si observem aquesta fotografia des d'una distància determinada, veurem un continu de tons de color; si ampliem el negatiu, veurem el conjunt de grans de l'emulsió fotogràfica.

En la fotografia en color, l'ampliació de la imatge també evidencia el gra.



2.4. La fotografia digital

En la fotografia digital la imatge final també reproduïx la realitat mitjançant elements diminuts. Si ens hi apropem, observem que la imatge està formada per milions d'elements que compleixen la mateixa funció que els grans de plata en les emulsions analògiques. En aquest cas, però, no són grans que deriven de la sensibilització de sals de plata, sinó píxels originats a partir d'una anàlisi numèrica de la llum.

En els dos exemples que presentem a continuació comparem dues imatges digitals d'origens diferents. La primera prové d'escanejar una emulsió fotogràfica, mentre que la segona ha estat feta directament amb una càmera digital. Podem comprovar que, independentment de l'origen, el resultat final és el mateix: una trama de píxels.

La imatge superior ha estat captada amb una càmera digital. L'ampliació màxima fa visibles els píxels que la formen. La imatge inferior procedeix d'un negatiu escanejat. També s'hi poden observar perfectament els píxels que la formen.



L'escàner és un mètode que es fa servir per digitalitzar imatges, però el més habitual per obtenir una fotografia digital és, òbviament, utilitzar un dispositiu amb un sensor capaç d'analitzar la llum. En tots dos casos es parteix d'una realitat analògica que s'interpreta numèricament, és a dir, es digitalitza. L'escàner analitza una imatge analògica que pot trobar-se en suport paper o en una pel·lícula, mentre que el dispositiu fotogràfic treballa directament amb la llum de l'escena. La realitat que podem dir que sempre és analògica s'interpreta de manera numèrica quan en fem una fotografia digital. La imatge digital es compon d'una matriu de píxels que podem observar al monitor, emmagatzemar a la memòria de l'ordinador, interpretar com a minúsculs punts de tinta sobre una superfície de paper o enviar per internet.

En resum, podem dir que la reproducció d'una fotografia es basa en la percepció d'infinat de partícules que reproduïxen, en forma d'una continuïtat de punts, les intensitats de la llum d'una escena. Els píxels de la fotografia digital són similars als grans de clorur de plata de la fotografia tradicional o als punts de tinta de la imatge impresa.



Escàner de negatius



Càmera digital



Telèfon mòbil

Dues imatges d'una mateixa escena. La superior s'ha captat amb una càmera digital; la inferior s'ha fet amb un negatiu fotogràfic i, posteriorment, s'ha escanejat.



3. El sensor electrònic

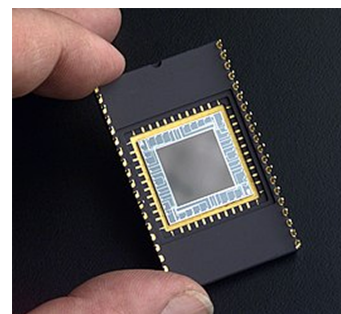
El sensor electrònic és l'element distintiu de la fotografia digital, l'element bàsic que és capaç d'analitzar la llum d'una escena i interpretar-la numèricament. Cada vegada que premem el disparador d'una càmera, posem en marxa uns procediments tecnològics complexos en els quals el sensor té un paper clau. El sensor presenta una àrea més o menys extensa de píxels amb capacitat de transformar en impulsos elèctrics l'energia lluminosa que es projecta damunt seu. La llum entra a la càmera a través de les lents i es concentra sobre el sensor. Aquest dispositiu constitueix, doncs, l'element que genera la imatge a la càmera digital. Es tracta d'una superfície rectangular amb cèl·lules sensibles a la llum, els píxels. Són elements microscòpics i es compten per milions. Un sensor de 40 megapíxels, per exemple, està format per 40 milions d'aquestes cèl·lules.

Quan fem una fotografia, la llum travessa les lents del dispositiu i arriba al sensor, on els píxels transformen la llum en electricitat. Com més intensitat de llum arriba o més fotons hi incideixen, més intensitat d'electrons es genera. El senyal elèctric creat es transforma en valors numèrics i es digitalitza, de manera que es descriuen les intensitats dels tres canals primaris de la llum (RGB) en sèries de bits. Un sensor de 8 bits analitza la llum en valors entre 0 i 255 per cada canal. Un de 12 bits ho fa en valors de 4.096 i un de 14 bits en valors de 16.384 per cada un dels canals primaris de la llum. Amb la informació digital extreta de tots els píxels d'un sensor es genera l'arxiu d'imatge que es guarda a la memòria.

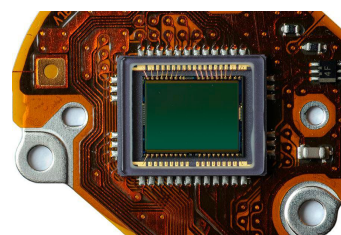
3.1. La resolució del sensor

Normalment sabem quina resolució té una càmera o un mòbil quan comprem el dispositiu. Aquesta xifra indica el nombre de píxels que conté el sensor, una dada que determina les dimensions màximes que tindran els arxius generats. Un sensor pot ser, per exemple, de 16, 24 o 48 Mpx. El nombre de megapíxels és una dada que va pujant a mesura que els dispositius evolucionen, ja que la tecnologia evoluciona ràpidament. La resolució dels sensors és un valor permanentment a l'alça.

Els píxels es distribueixen en columnes i files en la superfície del sensor. La quantitat total de píxels, és a dir, la resolució del sensor, prové de multiplicar el nombre d'unitats del cantó horitzontal pels del cantó vertical. Des dels sensors dels mòbils fins als sensors de les càmeres EVIL, rèflex o de format mitjà, el principi és el mateix. La resolució és el producte de l'amplada per l'alçada.



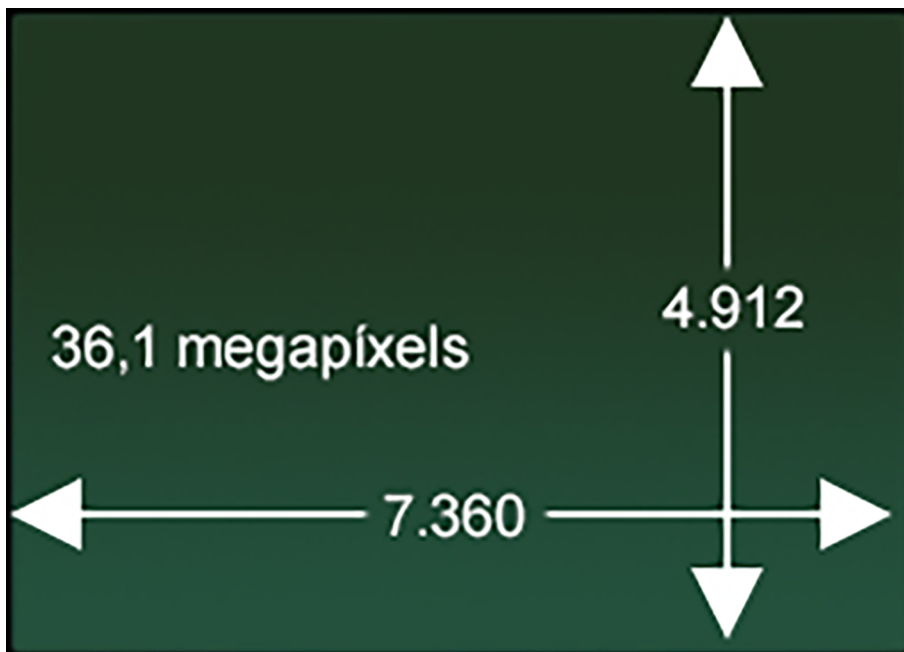
Sensor CCD. Font: Viquipèdia



Sensor. Fuente: Thomas Bresson, llicència CC

En la imatge anterior veiem un sensor integrat a la placa base d'un dispositiu qualsevol. Tot seguit n'extraiem únicament el sensor per utilitzar-lo com a exemple per analitzar el concepte de la resolució. Imaginem que es tracta del sensor d'un dispositiu fotogràfic de 36,1 Mpx. En aquest cas hi hauria 7.360 píxels pel costat horitzontal i 4.912 píxels pel costat vertical.

Resolució d'un sensor de 36,1 megapíxels (7.360×4.912)



Si el sensor fos de 45,4 Mpx, els paràmetres serien de $8,256 \times 5,504$. Si fos un sensor de 24,5 Mpx, els valors serien de $6,048 \times 4,024$.

3.2. Mida del sensor

La resolució és una dada important en un sensor que cal considerar conjuntament amb la mida. Una i altra estan estretament relacionades.

Parlem de la mida d'un sensor per referir-nos als mil·límetres del costat horitzontal i del costat vertical. És a dir, ara parlem de la superfície del sensor, una dada geomètrica.

Hi ha diverses mides en els sensors i, especialment en els de mòbils i compactes, la variabilitat és notable. Dins d'aquesta diversitat de mides, els valors en centímetres o mil·límetres són els més habituals.

Deixem de banda les càmeres de format mitjà, com les Hasselblad, que pertanyen al mercat professional i són minoritàries entre els usuaris aficionats.

Càmera Hasselblad



Font: <https://hasselblad.com>

Si ens centrem en les càmeres rèflex i les EVIL o sense mirall, trobem dispositius amb sensors *full-frame*. S'anomenen així perquè són sensors que tenen les mateixes mides que l'antic negatiu de 35 mm, és a dir, 24 × 36 mm.

Càmera Sony RX1



Font: Xatakafoto

Un altre grup també habitual tant en càmeres rèflex com en càmeres EVIL és el del sensor retallat. Es tracta d'un sensor amb unes dimensions inferiors al negatiu de 35 mm. N'hi ha de diversos tipus. Les APS-C, per exemple, tenen unes dimensions de 23,6 × 15,6 mm.

Càmera Canon EOS 60D



Font: Viquipèdia

Un tercer grup de sensors força habituals són els de quatre terços (4:3). Desenvolupats inicialment per Olympus, constitueixen un grup de càmeres que no són ni gaire grans ni gaire pesades però del molt bona qualitat.

Les mides anteriors (*full-frame*, sensor retallat i quatre terços) corresponen, en general, a càmeres rèflex i EVIL. Dins d'aquest segment les dimensions dels sensors són fàcilment agrupables en les tres categories descrites. Ara bé, quan passem al sector de les càmeres compactes i els mòbils, la variabilitat de mides i resolucions dels sensors és força més alta.



Càmera Olympus
Font: Viquipèdia

Sensor de càmera compacta



Font: Computer Hoy

Com podem comprovar, la variabilitat de mides dels sensors és alta. A continuació mostrem un gràfic amb la comparativa de dimensions dels sensors que hem comentat.

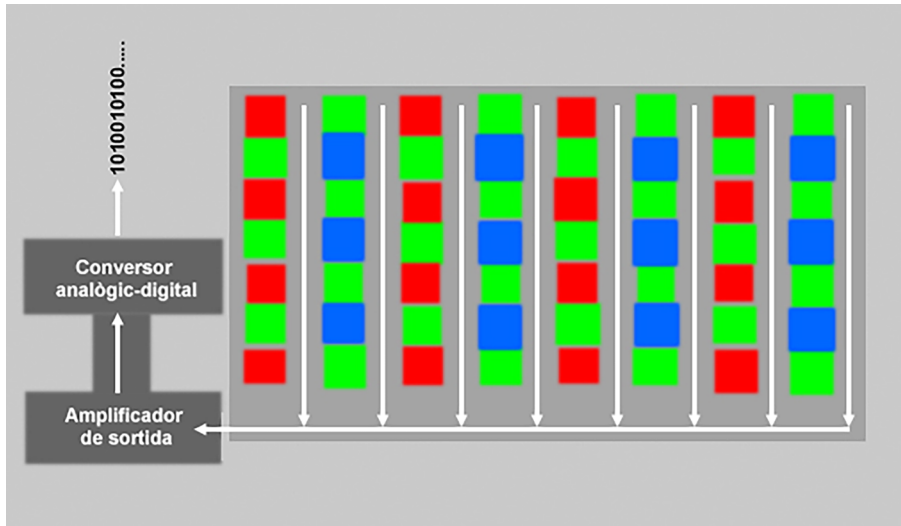


3.3. Tipus de sensors

En aquest subapartat desenvoluparem els diferents tipus de sensors que podem trobar als dispositius. Tot i que no són els únics, podem parlar de tres tipus que s'han incorporat a les càmeres des de l'inici del seu ús fins a l'actualitat. El tipus CMOS pràcticament ha guanyat la batalla a la resta, ja que actualment és el tipus de sensor que gairebé podria considerar-se universal.

El *charge coupled device* (CCD) té el seu origen el 1969 en els estudis de Boyle i Smith, en què treballaven per capturar imatges a partir de la càrrega elèctrica que es genera sobre un píxel quan hi incideix la llum. El 2009 els dos autors van rebre el Nobel de Física. En resum, podem dir que els píxels d'un sensor CCD generen una càrrega elèctrica proporcional al nombre de fotons que reben. Aquesta informació s'envia a un amplificador de sortida i, d'aquest, a un convertidor analogicodigital que descriu en forma de dígit les intensitats de la llum.

Esquema d'un sensor CCD

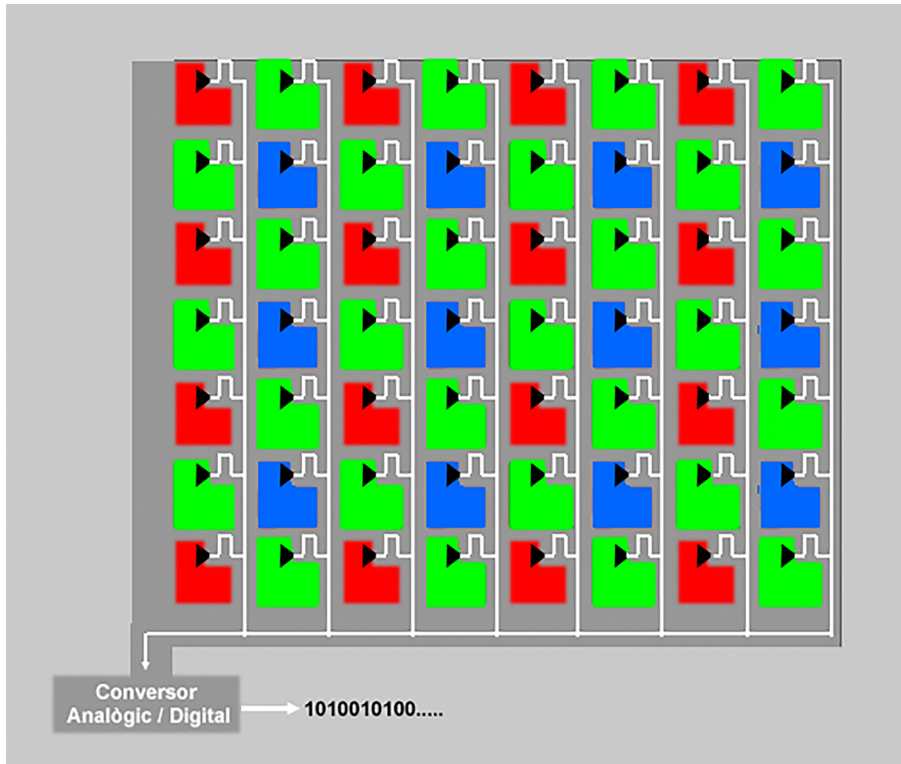


El segon tipus de sensors, els CMOS (*complementary metal oxide semiconductor*) també tenen un origen temporal similar als CCD. Entre el 1968 i el 1969 es van fer els primers estudis i proves tecnològiques. La diferència principal amb els CCD és que en aquest cas l'etapa amplificadora del senyal es troba dins del mateix píxel. Això provoca avantatges i desavantatges que, tot sigui dit, han evolucionat amb el temps.

Amb la tecnologia de les darreres dècades del segle xx la fabricació dels CMOS era més inestable i la producció dels CCD resultava més viable per a l'època. Això va fer que, fins al canvi de segle, el mercat dels sensors estigués dominat pels CCD. Però amb l'entrada dels 2000 va tenir lloc una inflexió i la preponderància que fins llavors havien tingut els CCD es va anar decantant cap als CMOS. Actualment aquests són els que ocupen pràcticament la totalitat del mercat.

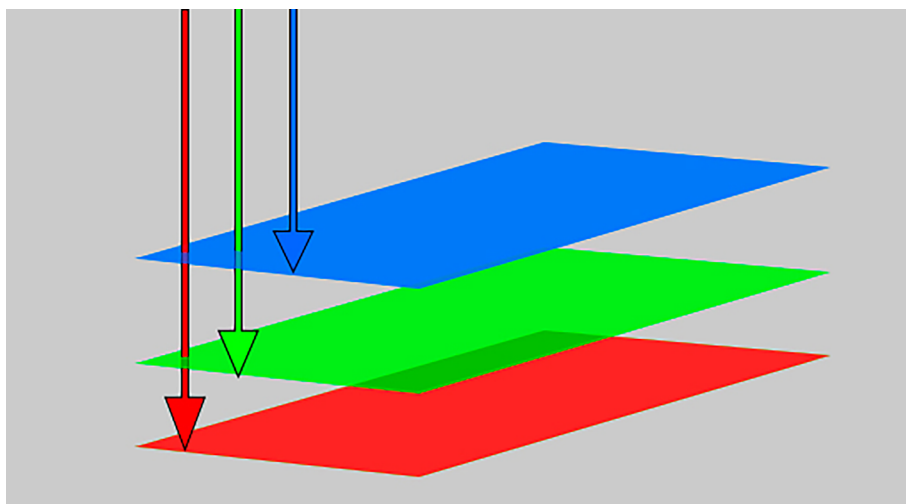
Una de les primeres raons de l'èxit inicial dels CCD era que presentaven una reproducció del color més bona. En els CMOS hi ha menys superfície per captar la llum perquè cal encabir-hi també l'amplificador electrònic, però amb les millores en el procés de producció aquest factor va anar deixant de tenir una importància significativa. Actualment els CMOS generen menys soroll, permeten treballar en ISO més altes, tenen un rang dinàmic més elevat i resulten més econòmics de fabricar. Son els sensors que trobem a la majoria dels dispositius actuals.

Esquema d'un sensor CMOS



El tercer tipus de sensors són els Foveon. La companyia que els fabrica es va originar el 1977 amb l'objectiu d'investigar i desenvolupar sensors amb píxels capaços de captar de manera diferencial la intensitat de les tres llums primàries (RGB). Parteixen d'un model CMOS i, com aquests, tenen una preamplificació electrònica en cada píxel. A més, es basen en les capacitats del silici i presenten una estructura en profunditat. D'aquesta manera, aprofiten que les tres llums tenen una capacitat de penetració diferent en aquest material per analitzar-les diferenciadament. Així, el blau arriba només a una capa superficial, el verd penetra fins la meitat del píxel i el vermell és el que arriba a més profunditat. D'aquesta manera es pot analitzar la intensitat de cada una de les llums. Una de les conseqüències és que un sensor Foveon pot tenir més resolució.

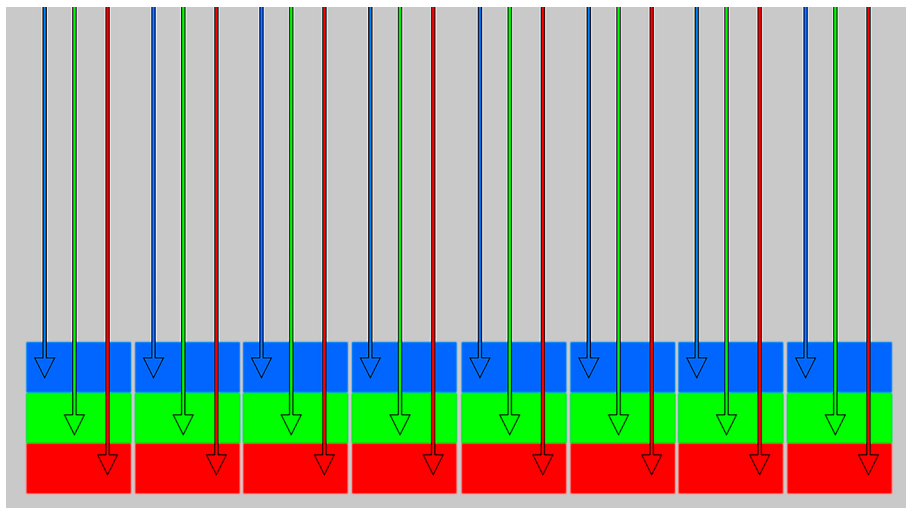
Els sensors Foveon es basen en la diferent capacitat de penetració de cada component de la llum en el silici.



Fracàs comercial de Foveon

No obstant això, Sigma és la única companyia que ha apostat per aquest sensor en càmeres com les SD9 i la dp2, per la qual cosa hauríem de dir que Foveon no ha tingut èxit comercial. Entre els problemes d'aquests sensors hi ha el fet que generen molt soroll, fins i tot en ISO baixes com la 400. Haver de treballar en ISO 100 limita la utilització d'aquest sensor a la fotografia de paisatge i d'estudi, i pràcticament fa inviable el seu ús en especialitats com els esports o la fotografia nocturna. Tampoc permeten gravar vídeo. Finalment, cal apuntar que no tenen un suport per als arxius que generen des dels programes reveladors de RAW (Lightroom, Camera Raw, RawTherapee, Capture One, Phase one...). Els algoritmes de treball de tots aquests programes parteixen de la base que han d'interpretar un mosaic de píxels verds, blaus o vermells. No preveuen que els píxels tinguin els tres components. No obstant això, cal dir que Sigma ha desenvolupat un programari per convertir els arxius Foveon a DNG i comptabilitzar-los, per tant, amb els reveladors de RAW.

En un sensor Foveon cada component de la llum (RGB) penetra fins la capa corresponent.



3.4. La formació del color i la matriu Bayer

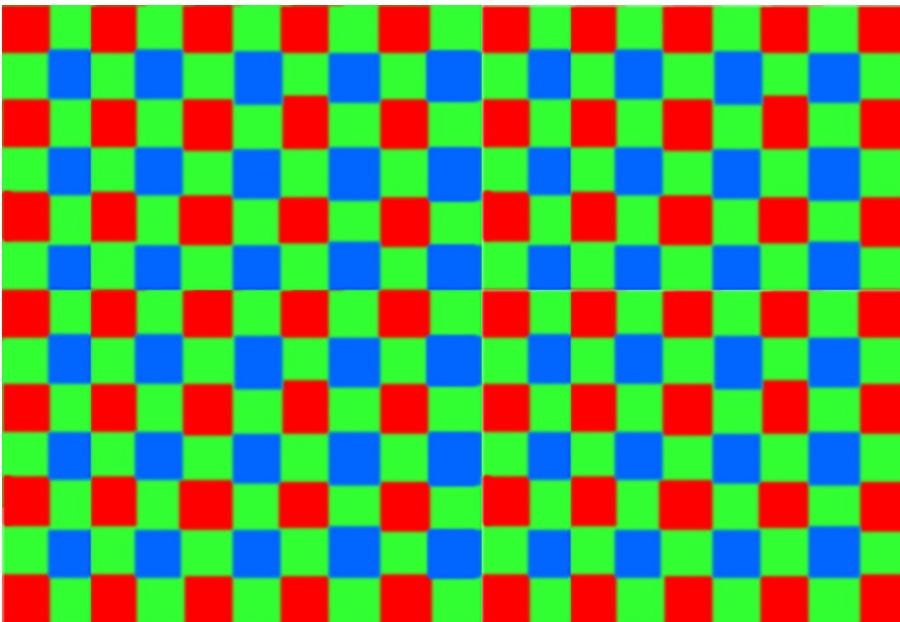
Excepte en el cas dels sensors Foveon, els píxels només són sensibles a la intensitat lumínica de la llum que els arriba. En ser estimulats, generen un voltatge que és proporcional a la quantitat de fotons rebuda, independentment del color predominant en una llum. Podem dir que el sensor és monocrom, és a dir, que no distingeix el color. Llavors, com és que fotografiem en color?

Per aconseguir discriminar els colors s'aplica la matriu Bayer. Sobre cada un dels píxels es col·loca un filtre que deixa passar únicament un dels components primaris de la llum. D'aquesta manera, al píxel només li arriba una intensitat determinada de llum vermella, blava o verda.

La distribució dels filtres no és uniforme. Hi ha un 25% de blau, un 25% de vermell i un 50% de verd. El patró respon al fet que l'ull humà té més sensibilitat per discriminar les variacions del color verd. Aquesta distribució és l'anomenada **matriu Bayer**.

A la figura es pot observar com es distribueix el mosaic de tons en un sensor.

En la matriu Bayer hi ha un 25% de fotodiodes destinats a captar el blau, un 25% destinats al vermell i un 50% al verd.



Un píxel fa una lectura directa d'un dels colors (R , per exemple). A partir d'aquí, els altres dos colors es calculen per interpolació. En base als valors que tenen G i B en els píxels propers es dedueix matemàticament el valor que poden tenir en el píxel en qüestió. Així, a la lectura directa del valor R es donen també les lectures interpolades dels valors G i B .

Els algoritmes de càlcul es poden trobar en el mateix programari de la càmera quan disparem en JPG o en programes com Lightroom, Camera Raw o Capture One en l'etapa del revelatge. El color que obtenim, per tant, no és resultat d'una anàlisi directa de la llum, sinó d'un mostreig de colors calculat per interpolació.

En aquest procés es dona una certa pèrdua de nitidesa, especialment quan hi ha transicions brusques entre colors, i és fàcil que aparegui un efecte moaré en el color o pèrdues de detall quan hi ha un color que predomina molt més que els altres.

La Quimera de l'Escaldàrium de Caldes de Montbui està il·luminada pràcticament només amb llum vermella. Es dona en conseqüència una pèrdua de definició en el detall de la cara.



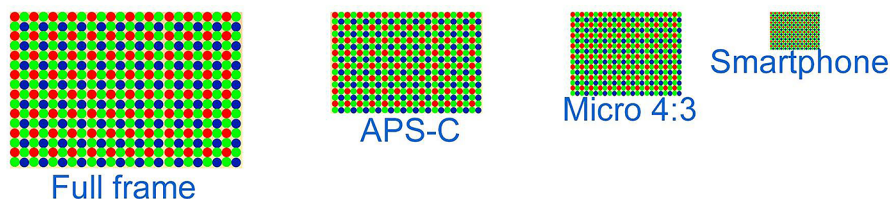
3.5. Qualitat d'imatge i soroll

Fins ara hem parlat de la resolució i de les mides del sensor. En aquest subpartat relacionarem aquests dos paràmetres per parlar de la qualitat.

Per començar, cal aclarir que més resolució no implica més qualitat d'imatge, sinó que una resolució elevada implica una imatge més gran, no necessàriament millor que una altra de més petita. La qualitat té més relació amb la grandària del píxel i les bondats dels algoritmes per al processament de la imatge que amb el nombre de píxels total d'un sensor. Parlem, per tant, de la grandària del píxel.

Agafem com a exemple els quatre formats de sensor que hem vist abans: *full-frame*, APS-C, Micro 4:3 i telèfon intel·ligent. Els mostrem a la figura a tall d'exemple. Reproduïm en cada un la matriu Bayer i suposem que omplim la superfície amb el mosaic de píxels que mostrem en el gràfic. Tots tenen la mateixa resolució: $16 \times 24 = 384$. En aquest exemple, per tant, estariem parlant d'una resolució de 384 píxels. Podem fer l'analogia als megapíxels que calguin.

El fet important és que en els quatre sensors la resolució és la mateixa però en el sensor *full-frame* els píxels són més gran que en l'APS-C, molt més grans que en el Micro 4:3 i extraordinàriament més grans que en el telèfon intel·ligent.



Que un píxel sigui més o menys gran determina la quantitat de fotons que pot rebre, és a dir, la quantitat de llum que pot analitzar i representar. Com més grans són els píxels d'un sensor, més nitidesa, claredat i qualitat tindrà la imatge que generaran. Poden recollir més llum i, per tant, obtenir una senyal més neta

3.6. Fotografia computacional

Si només ens centrem en la grandària del sensor, de l'apartat anterior podríem extreure la conclusió que un telèfon intel·ligent és el dispositiu amb menys qualitat d'imatge. No obstant això, per experiència sabem que això no és així i que una fotografia feta amb el mòbil pot tenir una qualitat molt alta. El mòbils cada vegada ofereixen imatges més bones que, en molts casos, superen les de càmeres compactes equipades amb sensors de superfícies de dimensions més grans. A part dels factors tradicionals, en els mòbils hi ha nous paràmetres.

Fins fa un temps una fotografia digital era el resultat, bàsicament, de l'òptica i el sensor; el programari intervenia sobretot en la fase de revelatge. Des de fa un temps, però, això ja no és així. El programari també intervé, de diferents maneres, en la captura de la imatge i permet incrementar notablement la qualitat. Aquesta és una de les característiques del que es coneix com a *fotografia computacional*, quelcom que s'ha desenvolupat en gran mesura en els mòbils. D'una banda, té la finalitat d'emular, mitjançant el programari i el maquinari, procediments que són propis de càmeres rèflex o EVIL. De l'altra, millora significativament les prestacions del dispositiu durant la captura de la imatge. Procediments com la profunditat de camp reduïda, la reducció del soroll o el treball combinat de les lents són cada dia més habituals en els dispositius mòbils. De tota manera, les càmeres reflex, EVIL o compactes també van incorporant procediments d'aquest tipus.

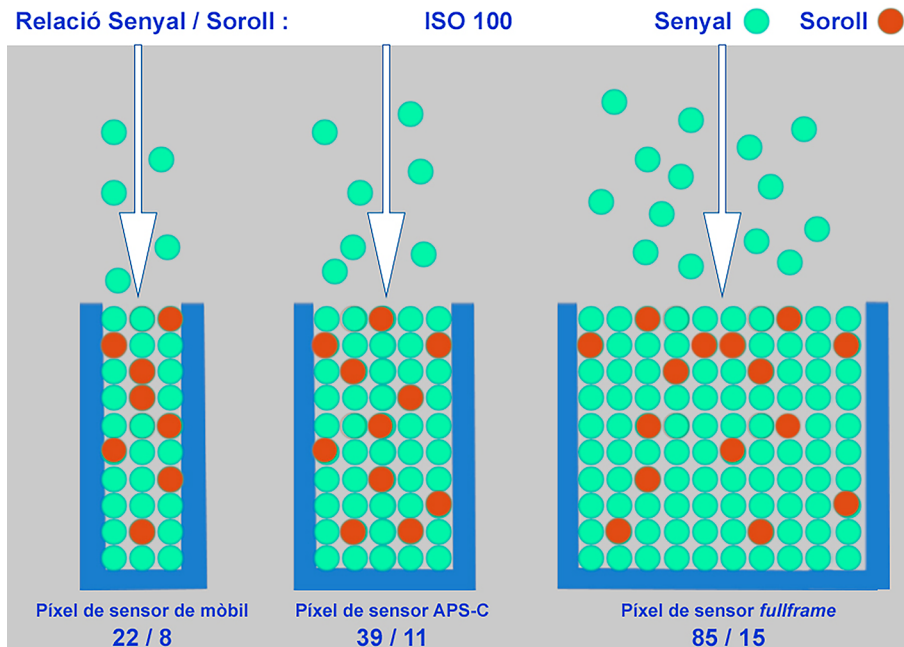
3.7. El soroll

Es coneix com a *soroll* l'aparició aleatòria d'alteracions en la brillantor o els colors en una imatge digital. Aquest fenomen es produeix en el dispositiu durant la captura i és resultat del funcionament del sensor.

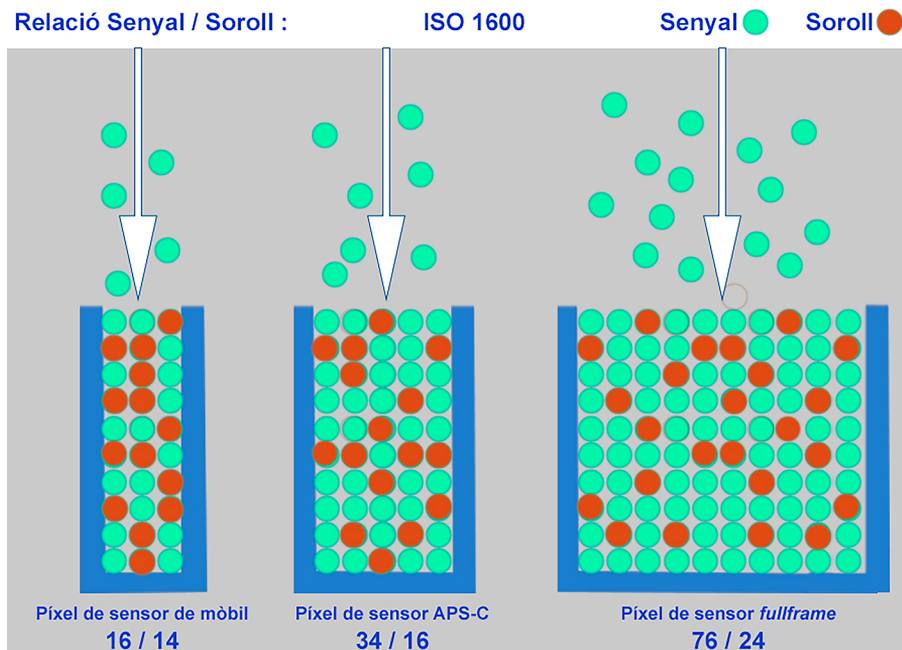
En certa manera podem establir un cert paral·lelisme entre el gra de la fotografia analògica i el soroll de la digital. Però mentre que el gra, que era propi de cada emulsió, era acceptat, el soroll de la fotografia digital es considera antiestètic i es procura evitar sempre, perquè és senyal d'una mala fotografia.

El soroll digital té molt a veure amb la mida dels píxels d'un sensor i amb la sensibilitat ISO a la qual es treballa. A la figura es presenta un exemple de com es relaciona el soroll amb les dimensions del píxel. Representem en vermell la informació que es pot generar segons un cert nivell de producció de soroll i en verd la informació que es genera a partir dels fotons que incideixen sobre el sensor. És evident que com més gran és un píxel més fotons pot captar. Podem veure clarament que la proporció entre els dos paràmetres és més alta quan el píxel és petit. La relació entre senyal i soroll té molt a veure amb les dimensions del sensor i dels píxels que el componen.

Les dimensions del píxel són determinants en la relació senyal/soroll. La generació de soroll és inversament proporcional a la grandària del píxel.



A valors ISO alts la generació de soroll és superior en tots els casos. Però també aquí la grandària del píxel condiona significativament la relació. Com més gran és el píxel menor és la relació de senyal/soroll.



També cal assenyalar que, quan s'incrementa la ISO, puja el nivell de soroll generat pel sensor. A ISO altes, per tant, la relació entre senyal i soroll s'incrementa.

En certa manera, podem entendre el soroll com a informació inútil i distorsionadora que apareix en forma de punts o de taques que interfereixen negativament en la nitidesa de la imatge. Les alteracions aleatòries de la brillantor i el color s'han d'evitar o minimitzar tant com es pugui.

3.8. Profunditat de color

Fins ara hem vist que, com a resultat de la incidència de la llum sobre el sensor electrònic, es produeixen intensitats variables de voltatge en cada un dels píxels i que aquestes intensitats es tradueixen en informació numèrica quan es digitalitza. El mateix passa quan escanegem un negatiu, una diapositiva o una còpia en paper. La llum que arriba al sensor de l'escàner genera diverses intensitats de voltatge en cada un dels píxels.

La profunditat de color és un concepte dels gràfics per ordinador que es refereix a la quantitat de bits d'informació necessària per representar el color d'un píxel en una imatge digital. Els valors alts es relacionen amb la riquesa en la reproducció dels tons, mentre que els valors baixos impliquen una reproducció més pobre. Vegem el nombre de tons que es poden reproduir amb diferents profunditats de color:

- 8 bits = 256 tons
- 12 bits = 4.096 tons

- 14 bits = 16.384 tons
- 16 bits = 65.536 tons

Els sensors electrònics acostumen a treballar actualment amb 12 o 14 bits. És evident que com més elevat sigui aquest paràmetre, més capacitat i riquesa per reproduir els tons tindrà el sensor. Durant l'edició treballem habitualment amb 8 o 16 bits. També cal relacionar la profunditat de bit o de color amb la degradació de la imatge durant els procediments que hi puguem aplicar.

3.9. El RAW

Fins ara hem vist com el sensor analitza la informació lumínica que li arriba i com la digitalitza. A continuació, descriurem com es guarda aquesta informació, és a dir, el RAW.

Un RAW és informació en brut i fa referència a la informació original de la llum que arriba al sensor. Aquesta és informació sense processar, és a dir, tenir el RAW és com trobar-se davant de la llum en el moment de fer la foto.

Posteriorment, aquesta informació s'ha de processar. És el que fan els reveladors de RAW quan editen a l'ordinador o el que fa el programari de la càmera quan ens mostra una imatge al visor de la càmera.

En processar el RAW amb el revelador de RAW obtenim una imatge processada, és a dir, una versió o una interpretació particular que fem de la situació original. Una imatge processada pot ser un PSD, un TIF, un JPG o un PNG. Interpretar un RAW significa dur a terme un determinat ajust de temperatura de color, adjudicar a cada píxel valors d'intensitat concrets per a cada un dels tres canals RGB. Aquestes dades es comprimeixen i es guarden en un arxiu (.psd, .tif, .jpg, .png). Ara, però, ja no disposem de la informació que ha arribat al sensor, sinó que en tenim una interpretació particular. Per això és tan important conservar els RAW i poder recórrer sempre que calgui a la informació original.

Edició no destructiva

El RAW permet una edició no destructiva, és a dir, podem fer les interpretacions que vulguem durant l'edició però sempre seran reversibles. Tret que esborrem l'arxiu RAW, sempre disposarem de la informació en brut que ha recollit la càmera en el moment de fer la fotografia.

Captura original del Cap Roig en RAW



Una interpretació en JPG del Cap Roig a partir del RAW original



Una altra interpretació en JPG del Cap Roig a partir del RAW original



