

Imatge digital

Xavier Bonet Peitx

PID_00153331



Els textos i imatges publicats en aquesta obra estan subjectes –llevat que s'indiqui el contrari– a una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 Espanya de Creative Commons. Podeu copiar-los, distribuir-los i transmetre'ls públicament sempre que en citeu l'autor i la font (FUOC. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya), no en feu un ús comercial i no en feu obra derivada. La llicència completa es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.ca>

Índex

1. Activitat 1. Captura digital de la imatge.....	5
1.1. Introducció	5
1.1.1. Contingut	5
1.1.2. Metodologia	5
1.1.3. Recursos	6
1.2. Objectius	6
1.3. Guia	7
1.3.1. Introducció històrica	7
1.3.2. Estructura genèrica d'una càmera	9
1.3.3. Tipus de càmeres	10
1.3.4. Introducció històrica a la captació de la imatge electrònica	15
1.3.5. Estructura bàsica del CCD	17
1.3.6. La sensibilitat en la imatge	18
1.3.7. Tipus de CCD	22
1.3.8. Aliàsing o moiré	23
1.3.9. Classificació de sensors CCD	24
1.3.10. La captació d'imatge en color	34
1.3.11. Els sensors CMOS	37
1.4. Problemes	40
2. Activitat 2. Digitalització de la imatge: mostreig, resolució i mida.....	42
2.1. Introducció	42
2.1.1. Contingut	42
2.1.2. Metodologia	43
2.1.3. Recursos	43
2.2. Objectius	43
2.3. Guia	44
2.3.1. Introducció	44
2.3.2. La resolució d'imatge	44
2.3.3. La mida del píxel en funció de la resolució de pantalla	57
2.3.4. El remostreig d'una imatge	58
2.3.5. La televisió d'alta definició	64
2.3.6. La relació d'aspecte de píxel	65
2.3.7. Formats digitals reduïts	69
2.4. Problemes	72
3. Activitat 3. Digitalització de la imatge: quantificació i profunditat de color.....	73
3.1. Introducció	73

3.1.1.	Contingut	73
3.1.2.	Metodologia	73
3.1.3.	Recursos	73
3.2.	Objectius	73
3.3.	Guia	74
3.3.1.	Quantificació dels píxels de la imatge	74
3.3.2.	Codificació d'imatges en color	78
3.3.3.	La codificació de color a 16 bits per canal	84
3.3.4.	Targetes de vídeo	88
3.4.	Problemes	90
Bibliografia		93

1. Activitat 1. Captura digital de la imatge

1.1. Introducció

1.1.1. Contingut

En aquesta activitat es fa una introducció històrica de les càmeres fotogràfiques i de vídeo, fent especial atenció als sistemes de captació d'imatge utilitzats al llarg de la història i la seva evolució fins a l'actualitat.

En aquesta activitat es repassen breument els primers tubs d'imatge i les seves característiques principals i posteriorment s'observen els avantatges que representa treballar amb sensors CCD¹. Al seu torn es veu com l'element de captació d'imatge no tan sols s'utilitza per a l'enregistrament de vídeo, sinó que aquest tipus de dispositius es pot trobar en una gran quantitat d'aplicacions, com l'astronomia i, evidentment, en càmeres fotogràfiques. També s'estudia la tipologia de sensors que hi ha en el mercat i les seves característiques principals, des dels clàssics sensors CCD als nous sensors que treballen a partir de la tecnologia CMOS.

⁽¹⁾Charge Coupled Device.

Així, el contingut de l'activitat consta de l'estudi de l'estructura genèrica d'una càmera, i s'avaluen amb més profunditat els elements de captació d'imatge actuals, els denominats CCD, i les seves característiques principals. Al final de l'activitat s'expliquen les propietats dels últims avenços en dispositius de captació d'imatge, els coneguts CMOS².

⁽²⁾Complementary metal oxide semiconductor.

1.1.2. Metodologia

En l'activitat es planteja un conjunt d'exercicis per a oferir una comparativa entre la fotografia analògica, basada en materials fotosensibles, i el seu equivalent en el sector de les tecnologies digitals. Amb aquests exercicis es volen mostrar les diferències i similituds entre les diferents tecnologies.

En tots els casos, l'eix central de l'activitat són justament el conjunt d'exercicis plantejats. Després de cada un d'aquests exercicis, hi ha una explicació per a justificar el fenomen practicat en el mateix.

Això vol dir que fins que no s'ha acabat de llegir tot l'exercici (teoria i pràctica) és normal que no s'arribin a comprendre tots els conceptes explicats. Per aquesta raó, és de vital importància acabar l'exercici sencer, abans de plantejar-se trobar resposta als dubtes que han sorgit durant l'estudi.

1.1.3. Recursos

Dins dels recursos necessaris per a fer l'activitat seria recomanable la utilització d'una càmera fotogràfica digital que permeti treballar en mode manual, o amb prioritat respecte al diafragma i l'obturació. I també seria recomanable la utilització d'una càmera de vídeo o alguna càmera fotogràfica que permeti gravar en vídeo.

També és recomanable, però no imprescindible, que per a avaluar els resultats dels exercicis s'utilitzi el Photoshop, d'aquesta manera es podran veure amb més detall els resultats obtinguts en cada cas.

1.2. Objectius

El propòsit d'aquesta activitat és que l'estudiant tingui una visió global de la tipologia de sensors d'imatge electrònica que han existit al llarg de la història fins a l'actualitat, i que al seu torn tingui la capacitat per a classificar-los en funció de les característiques i aplicacions.

Per a entendre aquests conceptes s'introdueixen algunes de les característiques de les càmeres analògiques i s'avaluen els avantatges i desavantatges que porta treballar amb aquesta tecnologia. Al seu torn es busquen les analogies entre els sensors fotoquímics i els sensors digitals, amb el propòsit que el lector entengui els mecanismes que permeten controlar les limitacions de cada sensor.

Aquests objectius estan relacionats amb les competències següents de l'assignatura:

- 1) Capacitat per a capturar àudio i imatges de manera eficient i eficaç.
- 2) Capacitat per a digitalitzar eficientment i eficaçment continguts d'àudio i imatge.
- 3) Capacitat per a operar de manera digital amb senyals digitals d'àudio i imatge.

I amb les competències següents del grau:

- 1) Ser capaç d'analitzar un problema en el nivell d'abstracció adequat a cada situació i aplicar les habilitats i coneixements adquirits per a abordar-lo i resoldre'l.

2) Capturar, emmagatzemar i modificar informació d'àudio, imatge i vídeo digitals aplicant principis i mètodes de realització i composició del llenguatge audiovisual.

3) Atendre adequadament consultes sobre projectes, tecnologies i mercat de productes multimèdia, avaluant de manera precisa l'entorn d'aplicació, els recursos i les alternatives tecnològiques disponibles.

1.3. Guia

1.3.1. Introducció històrica

En els últims trenta anys la tecnologia audiovisual ha sofert una transformació en tots els àmbits sense precedents.

Els aficionats o professionals de la **fotografia** han vist com s'ha passat del **negatiu de 35 mm** i els seus problemes associats de poca sensibilitat, gra i revelatge, a una fotografia que sovint permet treballar en condicions lumínica-ment inferiors i sobretot ofereix la immediatesa de poder visualitzar el resultat final sense haver de témer pel procés de revelatge i les despeses associades.

D'altra banda, en treballar amb un **material digital**, els hàbits de treball han estat modificats, fins al punt en què en de vegades el fotògraf professional pot lliurar la fotografia al client just quan acaba l'esdeveniment que s'estava fotografiant. I les possibilitats de manipulació de la fotografia, mitjançant programes de retoc fotogràfic, són pràcticament il·limitades.

Un dels punts més crítics de la fotografia digital és la resolució i les textures aconseguides. No són pocs els que fins i tot prefereixen les característiques estètiques que ofereix el 35 mm davant el sensor digital. De tota manera és una realitat que la gran massa social, tan professional com de gran consum, ha assimilat la fotografia digital com a format més àmpliament utilitzat.

De tota manera aquests canvis no han afectat tan sols l'àmbit de la fotografia, segurament el **desenvolupament d'Internet** i la seva integració en la vida quotidiana ha representat la revolució tecnològica més important de les últimes dècades; ja que a la Xarxa es pot trobar en qualsevol format audiovisual, des de fotografia, música, televisió, vídeo, etc., i com a xarxa de comunicació que és, permet la seva recepció des de qualsevol dispositiu que tingui cobertura o connexió telefònica. I, probablement en un futur no gaire llunyà, acabi essent el principal i gairebé únic sistema d'intercanvi i difusió de continguts audiovisuals.

El sector del **vídeo domèstic** també ha quedat clarament afectat per aquesta evolució, passant de les primeres càmeres domèstiques analògiques, als anys vuitanta, que gravaven sobre cintes de **vídeo 8 mm** o **VHS-C** amb una resolu-

ció no gaire bona, a les càmeres d'alta definició actuals que permeten gravar a **Full HD** sobre una targeta d'estat sòlid, de manera que s'aconsegueix una resolució que supera en cinc vegades la resolució de les seves antecessores. I el futur que s'acosta ja planteja la visualització de **continguts en 3D** sobre una pantalla de televisió.

La digitalització del senyal de vídeo ha permès que s'abandonin les antigues sales de muntatge en les quals es treballava amb vídeos, i els seus problemes associats com la multigeneració limitada i costos elevats, per convertir-se en modernes sales de postproducció en les quals, amb un sol ordinador mínimament potent, les possibilitats creatives ja gairebé no tenen límits.

Però aquests canvis també s'han traslladat a les **cadena de televisió**. De manera que on abans hi havia una desena de sales de muntatge en format Betacam (no el confongueu amb el format domèstic Betamax), ara s'han convertit en diverses desenes sinó centenars d'estacions de muntatge, ja que en l'actualitat l'ordinador de cada periodista permet l'edició de vídeos, i ofereix, a tots els que estiguin connectats entre ells i centralitzats mitjançant una gran base de dades, compartir el material emmagatzemat en grans servidors.

Exercici 1

Ordeneu cronològicament el moment en què aproximadament van aparèixer els fenòmens següents.

- Aparició del negatiu de 35 mm en color
- Aparició del Messenger
- Aparició de l'iPod
- Aparició de l'USB
- Recepció de televisió en dispositius mòbils iPod càsting.
- Aparició del primer format d'enregistrament de vídeo domèstic digital mini DV.
- Aparició de primer format de vídeo digital professional (Sony D1).
- Aparició de les primeres càmeres fotogràfiques amb sensor CCD.
- A partir de l'època en què Internet comença a suportar vídeo en temps real (*streaming*).

- A partir de l'època en què els ordinadors comencen a ser prou potents per a considerar-se estacions íntegrament de muntatge³.

⁽³⁾Considerem com a referència que l'any 1993 l'empresa Matrox va presentar un sistema d'edició en vídeo anomenat Matrox Studio en el qual l'ordinador no era prou potent per a emmagatzemar el vídeo sobre el disc dur, però era prou potent per a fer edicions en vídeo com un editor de vídeo actual, però utilitzant vídeos per a emmagatzemar les imatges. És a dir, el contingut audiovisual anava d'un vídeo a l'altre, i s'utilitzava l'ordinador com una estació de control remot dels vídeos.

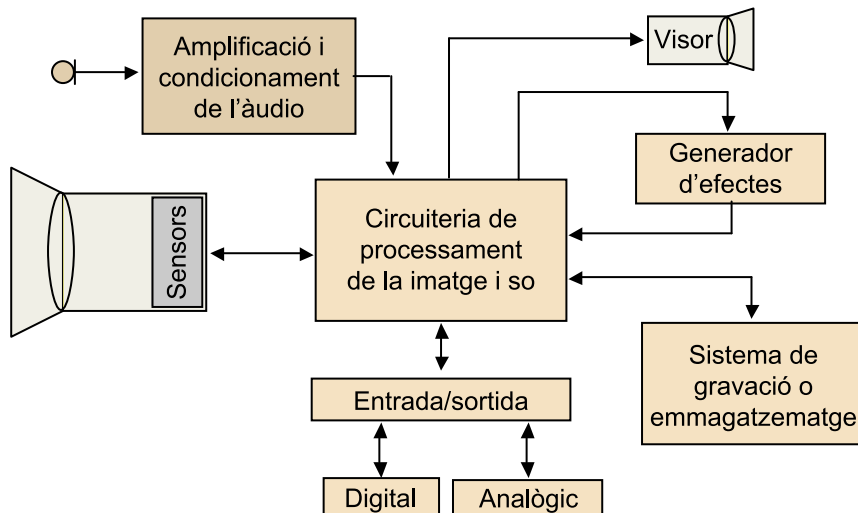
1.3.2. Estructura genèrica d'una càmera

Quan s'observa l'estructura d'una càmera fotogràfica digital o de vídeo, s'arriba a la conclusió que en línies generals aquestes utilitzen un disseny molt similar. Fixeu-vos que en tots dos casos es requereix un grup òptic que rep i dirigeix la llum cap al **sensor o grup de sensors** en funció del tipus de càmera que s'estigui utilitzant.

Nombre de sensors

La totalitat de càmeres fotogràfiques digital i de vídeo domèstic tenen un sol sensor. En canvi, com es veurà més endavant, en aplicacions de vídeo professional sovint s'utilitzen tres sensors, i cada un s'encarrega de rebre cada un dels components de color R, G i B (*red, green i blue*), que prèviament s'han separat mitjançant un prisma dicròic. Curiosament en algunes càmeres cinematogràfiques digital, en què s'utilitzen sensors de molt grans, es torna a utilitzar un únic sensor per a emular l'enregistrament cinematogràfic sobre un negatiu de 35 mm.

Figura 1. Esquema genèric en què es poden veure els blocs principals d'una càmera de vídeo o fotogràfica digital



Una vegada el sensor ha **transformat la llum en electricitat**, aquesta s'envia al circuit de processament de la imatge i so. Les funcions que es duen a terme dins d'aquesta etapa depenen molt del tipus de càmera utilitzada; lògicament una càmera de vídeo professional fa servir circuits complexos de control dels sensors i també de múltiples paràmetres per a la manipulació de la imatge. En canvi, una càmera web (*webcam*) pràcticament no utilitza processament. O,

en el cas d'una càmera fotogràfica, el circuit de processament tan sols ha de controlar el sensor de càmera en un únic fotograma, mentre que en vídeo s'ha de controlar una elevada quantitat de fotogrames per segon.

En línies generals i en funció del tipus de càmera amb què es treballi, el **mòdul de processament** cobreix les funcions següents.

- Controlar els paràmetres de càrrega i descàrrega del sensor.
- Generar els impulsos de sincronisme necessaris perquè una pantalla de televisió pugui interpretar la imatge correctament.
- Controlar el grup òptic, com l'autofocus, i l'obertura de l'iris i la velocitat d'obturació.
- Condicionar els senyals enviats pel sensor a les normatives específiques del format de fotografia o vídeo final.
- Sincronitzar i barrejar la informació de so amb la imatge corresponent.

De vegades, a l'usuari li pot interessar fer senzilles edicions en vídeo, sense utilitzar un equipament addicional, o generar efectes sobre la imatge, i també convertir-la a sèpia, a blanc i negre, o generar un mosaic, etc. Per a crear aquests efectes s'utilitza el **mòdul d'efectes** que només incorporen algunes càmeres fotogràfiques i algunes càmeres de vídeo domèstic.

Una vegada la imatge ja s'ha processat es pot optar per **visualitzar** la imatge en una pantalla, **transferir-la** a l'exterior i/o **gravar-la** sobre un suport magnètic en cinta o en targetes d'estat sòlid.

1.3.3. Tipus de càmeres

Les càmeres fotogràfiques digitals

L'estructura de funcionament d'una càmera fotogràfica digital és pràcticament la mateixa que la d'una càmera de vídeo, amb l'excepció que, en lloc d'emmagatzemar una sèrie de fotogrames consecutius a alta velocitat, es registra una sola imatge.

En la majoria de models, hi ha la possibilitat de visualitzar les fotografies en la pantalla de televisió convencional, o fins i tot es pot visualitzar el que es veu pel visor en temps real.

Actualment, el sistema de captació d'imatge d'una càmera fotogràfica és pràcticament el mateix que utilitzen les càmeres de vídeo.

La diferència més destacable entre els sistemes de captació de fotografia digital i les càmeres de vídeo és que les càmeres fotogràfiques digitals han de competir amb la resolució que lliura el negatiu de 35 mm; en conseqüència el sensor

de captació ha de tenir una resolució d'imatge millor. En canvi, la qualitat d'imatge que s'exigeix als sistemes de vídeo és inferior, ja que la pantalla de televisió sempre requereix menys resolució que la imatge impresa.

La unitat de circuiteria de processament d'imatge és molt semblant en els dos casos, ja que en els dos sistemes s'ha de controlar el procés de càrrega i descàrrega del sensor i s'ha de condicionar el senyal, per a obtenir un senyal de vídeo compost.

Posteriorment en el cas de les càmeres fotogràfiques, la imatge es digitalitza i s'emmagatzema en una memòria temporal (**RAM**), fins que finalment és transferida a un format d'emmagatzemament d'estat sòlid, com una targeta **SD-CARD**.

Per augmentar la capacitat del registre fotogràfic, la majoria de càmeres incorporen un circuit capaç de comprimir les imatges digitalitzades a un format **JPEG**; lògicament aquest procés de compressió implica una pèrdua de qualitat. Tot i així, i tenint en compte que els suports d'emmagatzemament cada vegada tenen més capacitat, cada vegada són més les càmeres que suporten formats sense compressió com el format **RAW**, el qual permet desar la imatge captada originalment pel sensor sense que aquesta hagi passat per cap etapa de compressió ni per la consegüent pèrdua de qualitat.

Figura 2. Exemple d'una càmera compacta fotogràfica digital



Càmeres web

Tal com indica el seu nom són el conjunt de càmeres destinades a aplicacions de videoconferència per Internet. En realitat, qualsevol càmera de vídeo analògica podria fer la funció d'una càmera web; de tota manera aquesta s'hauria de connectar a una targeta de digitalització i s'hauria de comprimir l'àudio i el vídeo per a adaptar-los a l'amplada de banda de la Xarxa.

Una de les característiques d'aquest tipus de càmeres és que ja integren un circuit de compressió i codificació que s'adapta a aquestes necessitats. De manera que, mitjançant una simple **connexió USB**, la càmera es troba automà-

ticament operativa, sense necessitat de disposar de targetes de digitalització genèriques, per la qual cosa es faciliten notablement les tasques de configuració del sistema.

En tractar-se d'una càmera amb una òptica fixa amb gran angular, la imatge queda gairebé sempre correctament enfocada⁴. Per aquesta raó, un no s'ha de preocupar per la incorporació d'un sistema d'enfocament automàtic. I, al seu torn, la seva mida reduïda permet ubicar-la a sobre de la pantalla o fins i tot integrar-la-hi.

⁽⁴⁾La profunditat de camp és la distància que queda correctament enfocada, per davant i per darrere d'un objecte seleccionat mitjançant l'anell d'enfocament, de l'òptica d'una càmera.

Figura 3. Exemple d'una càmera tipus càmera web destinada a aplicacions informàtiques



Càmeres de vídeo domèstiques

Aquest tipus de càmeres integra en un espai reduït el conjunt òptic i sensor d'imatge, els circuits de processament i el sistema d'enregistrament. En tractar-se de sistemes domèstics, incorporen una sèrie de circuits d'ajust automàtic dels components de color, guany de la càmera, control de l'obertura de diafragma, selecció de modes d'exposició predefinitos, etc. per a simplificar el control de la càmera a **usuaris no experts**. Aquest tipus de càmeres han utilitzat durant molts anys la cinta com a suport d'enregistrament, i han popularitzat formats com el vídeo 8 mm, el Hi8 o el VHS-C en analògic o el Mini DV en enregistrament digital. De tota manera, cada vegada són més les càmeres que basen l'enregistrament en targetes d'estat sòlid.

La qualitat d'imatge és acceptable, i el cost reduït també les fa atractives per al sector industrial. Gràcies també a la seva mida reduïda i prestacions correctes, de vegades també s'utilitzen en el sector professional per a l'enregistrament en situacions complexes en les quals prevalgui més la informació que la qualitat d'imatge aconseguida.

Figura 4. Exemple d'una càmera de vídeo domèstic del tipus *handycam*



Càmeres professionals de rodatge en exterior (ENG o EFP)

Hi ha dues maneres de nomenar aquest tipus de càmeres en funció de la seva aplicació ENG (*electronic news gathering*) o EFP (*electronics field production*). L'única diferència consisteix en l'aplicació que es dóna a la càmera.

Si s'utilitza la càmera per a l'enregistrament d'un programa informatiu, com un telenotícies, la càmera rep el nom d'ENG (*electronic news gathering*). En canvi, si la càmera s'utilitza per a gravar, per exemple, un programa d'entreteniment, sèrie, llavors la càmera rep el nom d'EFP (*electronics field production*).

En els dos casos es tracta del mateix tipus de càmeres.

A diferència de les càmeres vistes fins ara, aquestes acostumen a treballar amb tres sensors, un per a cada component de color vermell, verd i blau.

En aquest cas, les càmeres seran utilitzades per un càmera o persona experta en imatge, de manera que la majoria de paràmetres de control de la càmera –com el focus, l'iris, el guany, els filtres de selecció de temperatura de color, i circuits de processament del senyal– es poden dirigir manualment i automàticament.

L'elevada **qualitat d'imatge** resultant d'aquest tipus de càmeres és conseqüència de potents circuits de processament de senyal, a més de la utilització de tres sensors, i sobretot a l'ús d'un grup òptic de gran qualitat i, en conseqüència, també de grans dimensions. Això es tradueix en una càmera considerablement més gran, la qual cosa obliga l'operador a reposar la càmera sobre l'espatlla per a poder suportar el pes durant llargs períodes de temps.

Antigament, aquestes càmeres constaven d'un cos de càmera del qual sortia un cable que anava a un vídeo gravador extern que es podia portar penjant de l'espatlla. Actualment, les càmeres ja integren el sistema d'enregistrament al propi cos de càmera i es denominen camescopis o *camcorders*.

Hi ha més de trenta formats d'enregistrament de vídeo professional analògic i digital en cinta, que s'han utilitzat durant molts anys. Però en l'actualitat ja hi ha al mercat càmeres capaces de gravar amb qualitat professional sobre targetes d'estat sòlid, o sobre suports òptics, en els quals la velocitat de transferència del vídeo al disc dur de l'ordinador és molt més alta que en els sistemes en cinta.

Figura 5. Exemple d'una càmera professional per a aplicacions de rodatge ENG o EFP



Càmeres d'estudi

Aquest tipus de càmeres acostumen a ser **molt grans** i com que el conjunt òptic és de grans dimensions i pes acostumen a trobar-se dins dels platós de televisió o en programes de gran envergadura com esdeveniments esportius. Això es tradueix en el fet que habitualment requereixen grans suports, com els trípodes hidràulics, que sovint són robotitzats. Un operador d'imatge controla a tota hora l'enquadrament de la imatge i el seu focus des de la pròpia càmera, o en cas que la càmera sigui robotitzada la pot controlar mitjançant un control remot que es troba en la *reggie* o control de realització.

Altres ajusts com l'obertura del diagrama, la matriu de color, la qualitat d'imatge, el guany, la corba de gamma, etc. són manipulats per un altre operador que ajusta tots els paràmetres de les càmeres mitjançant la CCU o unitat de control de càmera. La justificació perquè un sol operador controli els paràmetres de totes les càmeres és que així es garanteix la continuïtat en la qualitat d'imatge quan el realitzador selecciona una càmera o una altra. Si no fos així, cada vegada que el realitzador seleccionés una càmera diferent es podria veure un salt en la qualitat d'imatge, en funció dels ajusts de cada una.

En aquest cas, la càmera no requereix cap sistema d'enregistrament, ja que aquesta actua tan sols com a element de captació. La imatge captada és enviada cap al control de realització. En el control de realització se centralitzen totes les imatges que provenen de totes les càmeres, i és aquí on un mesclador o el

mateix realitzador tenen la possibilitat, mitjançant un mesclador d'imatge, de seleccionar quina imatge li interessa que es gravi o es transmeti per televisió als espectadors.

Figura 6. Exemple d'una càmera professional d'estudi



1.3.4. Introducció històrica a la captació de la imatge electrònica

Com és sabut, en els últims cinquanta anys la tecnologia electrònica i sobretot la microelectrònica ha sofert una evolució vertiginosa, arribant a miniaturitzar en un microxip una potència de càlcul que fa uns quants anys era inimaginable. Uns dels dispositius que han sofert aquesta transformació són els sensors d'imatge, que en pocs anys han passat de ser tubs d'imatge voluminosos i inestables, a reduïts i estables CCD (*charge coupled device*) o dispositius de càrrega acoblada.

Aquests dispositius reben la llum de la imatge i la transformen, mitjançant uns components fotoelèctrics, en electricitat, de manera que a la sortida del sensor s'obté una representació elèctrica de la llum que ha incidit en el sensor.

Durant molts anys el potencial elèctric que lliurava el sensor era directament proporcional a la lluminositat de la imatge captada, és a dir, que de la sortida del sensor s'obtenia un senyal elèctric analògic que representava que parts de la imatge tenien més o menys llum, i s'utilitzava aquest senyal com a font de procés en la manipulació i enregistrament d'imatges.

En l'actualitat, en la majoria dels casos el senyal elèctric que lliura el sensor és digitalitzat, de manera que tot el procés de manipulació posterior es du a terme íntegrament de manera digital. Això es tradueix en una qualitat d'imatge millor, ja que durant el processament del senyal no s'introdueixen pèrdues en el senyal i consegüentment la imatge pràcticament no es degrada.

Els primers sensors d'imatge

Les primeres càmeres de vídeo basaven la captació de la imatge en uns dispositius anomenats **tubs d'imatge** (el procés que utilitzaven aquests tubs d'imatge era molt similar al que han utilitzat durant molts anys els televisors de rajos catòdics).

El procés de captació de la imatge consistia a impressionar la superfície frontal del tub, anomenat *mosaic* o, en anglès, **target**, amb la llum corresponent a la imatge que s'estava entrant per l'òptica de la càmera. El mosaic estava format per un **fotocàtode**, que quan rebia l'impacte dels fotons entrava en desequilibri elèctric i generava un excés d'**electrons** que era directament proporcional a la intensitat lluminosa que havia incidit sobre la seva superfície. Aquests electrons eren recollits per una fina capa metàl·lica ubicada en la part posterior del mosaic, que després de ser processats s'enviaven a la sortida del tub.

D'alguna manera, es podria dir que el potencial elèctric del senyal de vídeo era directament proporcional a la quantitat d'electrons que sortien del mosaic.

Figura 7. Fotografia d'un sensor de tub d'imatge del tipus vidicó desenvolupat el 1950 per l'RCA



Font: Viquipèdia

Al llarg d'uns quants anys van ser diverses les empreses que van investigar aquest **tipus de sensors**, cada una va treure al mercat la seva pròpia versió del sensor d'imatge. De manera que Hitachi, Thompson i Sony van presentar el **Saticón**, Matsushita va crear el **Newvicón**, Philips va dissenyar el **Plumbicón** i diferents fabricants van treure al mercat altres sensors com l'**Orticón**, **Pasecón** i el **Trinicón**. Tots tenien unes característiques molt similars que afectaven lleugerament el rendiment i la qualitat de la imatge. De tota manera mantien unes característiques comunes.

Per exemple, abans de funcionar correctament, el tub necessitava un quant temps per a escalfar-se. Aquest temps podia oscil·lar entorn d'una hora. Si aquest temps no es respectava era habitual que la qualitat de la imatge "sobretot la temperatura de color" canviés a mesura que s'escalfava. O, si per alguna raó la càmera quedava durant un llarg interval de temps enfocant a algun punt lluminós d'elevada intensitat, podia cremar-se parcialment el mosaic, i una vegada cremat, quedava de manera permanent un punt fosc en la imatge que no podia eliminar-se.

Els tubs d'imatge eren molt grans comparats amb els sensors actuals CCD o CMOS, la qual cosa exigia que les càmeres també fossin grans. Consumien una gran quantitat d'energia i a més eren molt fràgils i cars.

En resum com a tecnologia pionera en la captació d'imatge electrònica, el tub d'imatge va ser fonamental durant molts anys, però amb el pas del temps es va veure que tenia una gran quantitat de mancances que s'havien de solucionar. L'evolució tecnològica va dur els departaments d'I+D de les empreses principals del sector, com també universitats i centres de desenvolupament, a buscar una nova tecnologia que minimitzés els defectes del tub d'imatge.

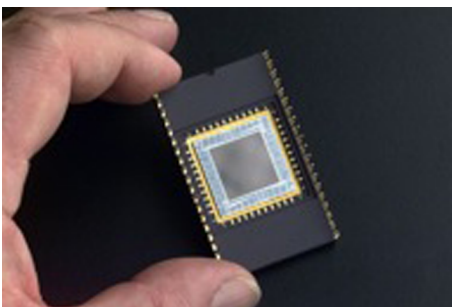
1.3.5. Estructura bàsica del CCD

En els anys setanta van aparèixer els primers dispositius capaços de captar la imatge mitjançant un sensor de tipus CCD. Des de llavors el CCD ha estat el substitut natural del tub d'imatge i la seva introducció en el mercat va començar amb les càmeres de vídeo professionals. És a dir, en l'àmbit domèstic, les càmeres cinematogràfiques en super 8 es van continuar utilitzant per a gravar fins a ben entrats els anys vuitanta, i en l'àmbit de la fotografia aquest tipus de sensors no va substituir el negatiu de 35 mm fins als anys noranta.

Un sensor CCD és un dispositiu de mida reduïda (1/8, 1/2, 2/3, etc. polzades) ple de fotosensors diminuts, capaços de transformar energia lluminosa en electricitat.

En realitat es tracta de petits acumuladors elèctrics, l'estructura bàsica dels quals es basa en la utilització de materials semiconductors.

Figura 8. Fotografia d'un sensor tipus CCD



Font: Viquipèdia

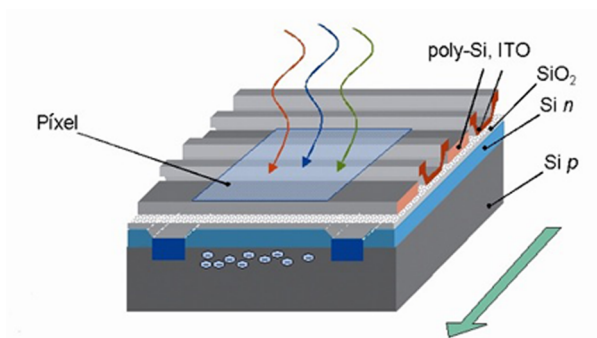
Els **materials semiconductors** tenen la propietat que, controlant el **grau de dopatge** o **contaminació** que se'ls aplica, es pot arribar a aconseguir un gran control sobre la quantitat de corrent elèctric que hi circula.

Aquesta característica ha estat de gran valor en el disseny de transistors i, per tant, en el disseny de microprocessadors integrats.

En la figura 9, es pot veure l'estructura bàsica del funcionament d'un CCD. Es pot veure com es tracta d'una estructura formada per una base de silici dopada amb defecte d'electrons. La conseqüència és que s'obté un material, des del punt de vista elèctric, carregat positivament (Si p), i just a sobre hi ha una sèrie de capes, també de silici amb diferents graus de dopatge. Aplicant certs potencials elèctrics a cada capa es pot obtenir un control perfecte sobre la circulació de càrregues elèctriques en el sensor.

Així, doncs, un sensor CCD és un dispositiu format per material semiconductor amb una retícula regular de petites cel·les fotosensibles, on cada una és controlada per un potencial elèctric. De manera que quan la llum incideix sobre cada una, aquestes transformen l'energia lluminosa en electrons, en funció de la quantitat de llum que han rebut. Quan ha acabat el procés de càrrega de la imatge mitjançant l'aplicació de diferents potencials elèctrics sobre cada píxel, es condueix la càrrega elèctrica fins a la sortida del sensor per a crear el senyal de vídeo.

Figura 9. Esquema genèric en el qual es pot veure l'estructura i les capes principals d'un píxel en un CCD.



Font: Viquipèdia

La figura mostra una aproximació simplificada de l'estructura d'un sensor real. En realitat hi ha diferents tipus de CCD, i cada un té les seves pròpies característiques i mètodes de treball.

1.3.6. La sensibilitat en la imatge

Durant molts anys s'ha treballat amb fotografia basada en **materials fotoquímics**, fent incidir la llum sobre un negatiu compost per materials fotosensibles com el **nitrat de plata** o les **sals de plata**.

En treballar amb productes químics, el paràmetre que defineix les característiques del negatiu són justament el tipus de components utilitzats i en gran manera la mida dels **halurs de plata**, que són com partícules minúscules formades per sals de plata, que contenen el negatiu. Com més gran és la mida dels halurs, més gran és també la sensibilitat a la llum del negatiu. En contra-

partida, és més fàcil veure els halurs a simple vista. És a dir, en ampliar la còpia, el factor d'ampliació quedarà limitat a la percepció que es tingui de pèrdua de resolució o visualització del mateix gra en la imatge.

En fotografia analògica el paràmetre que indica la mida del gra del negatiu, és a dir, la sensibilitat que aquest té a la llum, es representa mitjançant uns **valors ISO** (antigament coneguts com a valors NANSAs).

De manera que un negatiu amb una sensibilitat considerada comuna tindria un valor de 100 o 200 ISO, en canvi un negatiu de sensibilitat alta pot tenir valors de 400 o 800 ISO, i un negatiu de poca sensibilitat es trobaria entorn de 50 ISO.

Exercici 2

Per fer aquesta activitat s'ha d'utilitzar una càmera fotogràfica digital, (no és necessari que sigui una càmera rèflex).

L'activitat consisteix a fer treballar en la mesura que pugui la càmera en mode manual, ja que ens interessa poder controlar el diafragma i l'obturació de la càmera, mitjançant els menús de la càmera forçar-la a treballar amb una sensibilitat de 50 ISO i, sense activar el flaix de la càmera, fotografiar un motiu. Posteriorment s'ha de modificar la sensibilitat de la càmera a una posició de més sensibilitat com, per exemple, 800 o 1600 ISO. En estar treballant en mode manual, es veurà que la imatge queda clarament sobreexposada, per tant, haurem de tancar el diafragma o disminuir el temps d'obturació, perquè la fotografia quedi exposada correctament. Ara només queda tornar fotografiar el mateix motiu amb el mateix enquadrament i comparar els resultats de les dues fotografies.

Fixeu-vos que, en les dues imatges de l'exemple, el nivell d'il·luminació és aparentment idoni. I en realitat és així, ja que en tots dos casos el diafragma i l'obturador es compensen l'un a l'altre.

Figura 10. Imatges preses amb diferents nivells de sensibilitat



A: imatge presa amb un nivell baix de sensibilitat. B: imatge presa amb un nivell alt de sensibilitat.

	Paràmetres	
	Fotografia A	Fotografia B
Sensibilitat	80 ISO	1.600 ISO
Velocitat d'obturació	1/200	1/800
Obertura de diafragma ⁵	F 2.8	F 8.0
Resolució	10 megapíxels	10 megapíxels

⁽⁵⁾La nomenclatura F per a denominar el valor d'obertura del diafragma, prové de l'expressió *focal ratio*, ja que fa referència a la relació entre la distància focal i el diàmetre efectiu d'obertura de l'iris de l'objectiu.

Possiblement per a avaluar amb detall la diferència entre una fotografia i l'altra, serà necessari ampliar les imatges centrant l'atenció en tan sols una petita regió d'aquestes.

Figura 11. Ampliacions de les dues fotografies de la figura 10



A: ampliació parcial de la fotografia A de la figura 10. B: ampliació parcial de la fotografia B de la figura 10

Fixeu-vos com l'ampliació de la fotografia B sofreix clarament una pèrdua de resolució a causa del "soroll" digital que comporta treballar amb nivells alts de sensibilitat. És a dir, que aparentment la tecnologia digital no sembla que millori tots els inconvenients associats a la fotografia analògica.

Resum

Com és possible que si la càmera és digital generi "gra" en la imatge?

Realment, quan es modifica la sensibilitat d'una càmera digital, el que es fa és indicar al seu sensor que, per la mateixa quantitat de llum rebuda, generi més potencial elèctric a la sortida. Dit d'una altra manera, si el sensor genera una certa quantitat d'electricitat per cada unitat de llum, quan se n'augmenta la sensibilitat, se li demana que amplifiqui el senyal a partir del que ja té. Aquest procés d'amplificació té lloc mitjançant una sèrie d'amplificadors que tan sols augmenten el nivell d'amplitud del senyal que els entra. És a dir que, si en el senyal d'entrada hi ha una part de soroll, aquest també s'amplificarà i, per tant, serà clarament visible a la sortida. Aquest soroll ja no és amb prou feines un problema, ja que en l'actualitat els sensors de càmera són molt sensibles i molt poques vegades es necessita augmentar-lo.

Exercici 3

Busqueu un espai amb poca llum, si pot ser totalment a les fosques, millor. Agafeu un generador de llum, per exemple, una espelma. Enceneu-la i enfocau-la preferentment amb una càmera de vídeo, i observeu.

Es podrà veure com en la imatge apareix una línia vertical, que es troba just a sobre del punt de llum.

Figura 12. Imatge de l'efecte *smear* generat per un sensor de CCD



Si es gira la càmera (com si volguéssim que la imatge fos vertical), podrem veure que la línia també gira i queda orientada horitzontalment. Aquesta línia vertical podria semblar un efecte òptic, però no ho és. S'anomena *smear*, i és un dels defectes principals que tenen els sensors CCD a causa de la seva estructura de funcionament.

La prova també es pot fer amb una càmera fotogràfica digital, de tota manera actualment les càmeres fotogràfiques digitals eliminen l'*smear* posteriorment mitjançant un processament. És a dir, que en previsualitzar la imatge amb la pantalla de càmera es podrà visualitzar l'*smear*, però en fer la fotografia es veurà com aquest desapareix.

Per a entendre la causa de l'*smear* és necessari comprendre quina és l'estructura d'un sensor CCD i la seva manera de treballar.

Resum

A tots ens ha passat alguna vegada que, mirant un punt de llum d'intensitat lluminosa elevada, per exemple, una bombeta, continuem veient aquest punt durant un interval lleugerament prolongat de temps fins i tot havent deixat de mirar-lo. D'alguna manera la imatge resta viva en el fons de l'ull, concretament en la retina. Aquest fenomen és absolutament normal, i es produeix perquè les cèl·lules de l'ull sensibles a la llum actuen com un transductor fotoelèctric de manera que generen un potencial elèctric proporcional al flux lluminós que ha incidit sobre elles, que enviaran al cervell a través de la xarxa neuronal perquè aquest ho interpreti. Si incideix un flux de llum d'intensitat elevada, les cèl·lules se sobreestimulen de manera que continuen generant electricitat durant un quant temps encara que tinguem els ulls tancats. Això es tradueix en la sensació veure un punt de llum encara que tinguem els ulls tancats.

D'alguna manera, els sensors d'imatge utilitzen una tecnologia molt similar al procés que segueix l'ull. En lloc de tenir cèl·lules, hi ha una sèrie d'acumuladors diminuts que actuen com a transductors fotoelèctrics. Aquests acumuladors o píxels, generen una certa quantitat d'electrons proporcional a la llum que incideix sobre ells i els desen fins que acaba el període de càrrega de la imatge. De manera que si es treballa a 25 fotogrames per segon, durant el període corresponent a un fotograma 1/25 és a dir 40 ms, els electrons es troben al sensor fins que aquest els envia a la sortida en forma de senyal de vídeo. Estudiant l'estructura de funcionament del CCD es podrà veure com es genera l'efecte de *smear* en el sensor de càmera.

1.3.7. Tipus de CCD

Els **primers sensors CCD** que van aparèixer en el mercat no tenien la capacitat d'integrar una gran quantitat de píxels, habitualment tenien prop de 400.000 píxels. Això feia que les imatges que s'obtenien amb aquests no podien superar resolucions de vídeo ($720 \times 576 = 410.000$ píxels), és a dir, resolucions de prop de **0,5 megapíxels**. Actualment, una càmera fotogràfica digital pot incorporar sensors amb resolucions superiors a **10 megapíxels**.

Exercici 4

Feu una fotografia amb un telèfon mòbil o càmera web que no tingui una resolució superior als 2 megapíxels, i passeu la fotografia a paper amb una mida de 13 cm x 18 cm. Observa la impressió i extreu-ne conclusions.

Resum

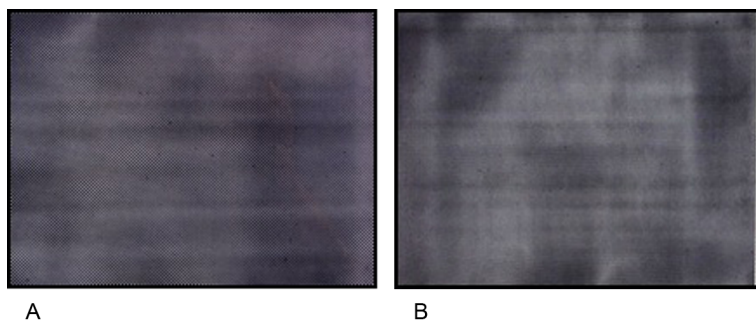
Fixeu-vos que la resolució resultant és de qualitat molt baixa i que la imatge pràcticament no té cap detall. Això és perquè si mirem en una distància d'uns 15 cm una imatge tan gran, l'agudesa visual humana és molt superior a la separació entre píxels. Si amb una imatge de 2 megapíxels la imatge impresa té una qualitat tan pitjor, els primers sensors CCD que tenien una resolució pròxima a 0,5 megapíxels no permetien plantejar-se com a formats substituïts del negatiu fotosensible de 35 mm.

Així, quan es treballa en un suport físic com el paper, la quantitat de píxels per unitat de superfície ha de ser molt elevada, perquè no es percebi la sensació de pèrdua de detall en la imatge. En impressions de qualitat s'acostuma a treballar amb una resolució d'uns 300 píxels per polzada. En canvi, si el suport de visualització és una pantalla d'ordinador, aquesta resolució pot disminuir a uns 150 punts per polzada, però, si la pantalla és d'un antic televisor de tub de rajos catòdics, aquesta resolució pot disminuir fins a 72 píxels per polzada. Per aquesta raó, durant molts anys, els primers sensors CCD es van utilitzar tan sols en l'àmbit del vídeo. Actualment la microelectrònica ofereix la possibilitat de tenir sensors de resolució d'imatge suficient per a ser incorporats en el sector fotogràfic.

Exercici 5

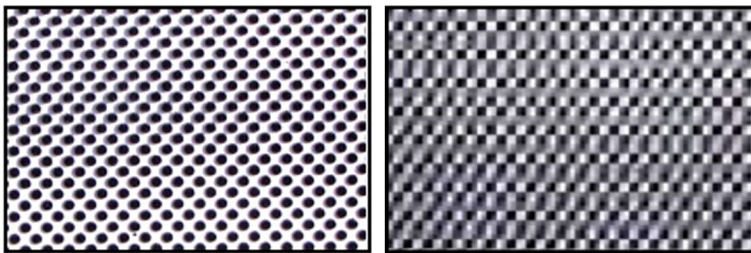
Observeu les imatges inferiors. En aquest cas s'ha fotografiat una fulla plena de petits punts negres amb una càmera de 10 mega píxels i, al seu torn, s'ha gravat en vídeo amb una resolució de 720×576 una seqüència de la qual s'ha congelat un fotograma.

Figura 13. Comparació entre càmera fotogràfica i de vídeo



A: fotografia del patró de punts feta amb una càmera de 10 megapíxels. B: fotografia extreta d'una seqüència gravada en vídeo amb una resolució estàndard de 720×576 píxels

Figura 14. Ampliacions de les dues fotografies de la figura 13



A: ampliació parcial de la imatge presa amb la càmera fotogràfica. B: ampliació parcial de la imatge presa amb la càmera de vídeo.

Observeu com la pèrdua de resolució del vídeo respecte a la càmera fotogràfica és molt evident.

1.3.8. Aliàsing o moiré

Durant molts anys la visualització de l'efecte moiré o aliàsing, ha estat un dels principals cavalls de batalla dels desenvolupadors de càmeres.

Aquest fenomen és a causa de l'encavalcament entre un patró interferent d'alta freqüència (com una camisa de ratlles o una barana plena de columnes fines) amb la disposició dels píxels en la graella del sensor CCD.

Figura 15. Efecte moiré generat a partir de la superposició de dos patrons, formats per una gran quantitat de petits punts negres sobre un fons transparent



Visualment, fa que en la imatge apareguin una sèrie d'aigües que sovint, encara que la imatge original no tingui color, adquireixen tonalitats cromàtiques aleatòries. De fet, les aigües també són aleatòries, així que, si es vol eliminar l'efecte moiré, s'ha de solucionar abans que es generi. Una vegada generat, ja és pràcticament impossible discernir entre els que és moiré i el que correspon a la imatge original.

De tota manera, com s'ha comentat, al llarg dels anys els fabricants de càmeres han destinat una gran quantitat d'esforços a minimitzar aquest efecte tan desagradable. De manera que en el mercat han aparegut múltiples tècniques per a eliminar-lo.

Actualment, la majoria de càmeres que hi ha en el mercat ja incorporen un filtre òptic previ al sensor CCD, que filtra i elimina la part de la imatge que pugui generar moiré amb l'estructura del sensor. De tota manera, molts dispositius incorporen un circuit que, elèctricament i mitjançant el filtratge d'altres freqüències, aconsegueix minimitzar encara més l'efecte moiré. Per això, en l'actualitat la majoria de càmeres solucionen o minimitzen en gran manera aquest problema.

En l'enllaç següent es pot visualitzar com es genera l'efecte moiré:

<http://www.mathematik.com/Moire/>.

1.3.9. Classificació de sensors CCD

Per a comprendre el funcionament de cada un dels sensors CCD, és interessant l'estudi a partir de com cada un distribueix les càrregues elèctriques en el temps. I per fer-ho s'abordarà des de l'estudi dels primers sensors orientats al sector del vídeo.

Inicialment, en el mercat van aparèixer un conjunt de sensors, i cada un utilitza una tècnica de captació i distribució de les càrregues diferent.

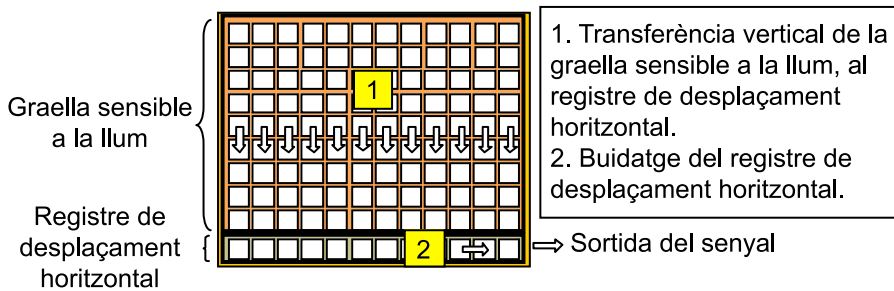
Tots tenen una graella plena de píxels sensibles a la llum, però una vegada ha acabat l'interval de captació de la imatge sobre la graella de píxels sensibles a la llum, cada sensor gestiona l'electricitat generada en cada píxel de manera diferent. Vegem a grans trets com treballa cada un.

Full frame

En aquest cas es tracta del sensor més senzill que hi ha. Simplement la graella sensible a la llum carrega les cel·les durant l'interval de càrrega. Quan acaba l'interval, un sistema mecànic denominat *obturador* tapa la regió sensible a la llum mentre aquest descarrega el potencial de les seves cel·les línia a línia sobre el registre de desplaçament horitzontal.

Aquest tipus de sensors són els que habitualment incorporen les càmeres fotogràfiques rereflex, de manera que la velocitat d'obturació de la càmera serà la que determinarà l'interval de temps de càrrega de les cel·les. En aquest cas, una vegada impressionat el CCD, pot descarregar les seves cel·les tranquil·lament, ja que l'obturador és tancat, per la qual cosa les cel·les de la graella sensible deixen de rebre llum de l'exterior.

Figura 16. Esquema en el qual es poden veure l'estructura i etapes de funcionament d'un sensor del tipus *full frame*



Frame transfer (FT)

En aquest cas tenim un sensor amb dues graelles, una de sensible a la llum que es troba en la part superior del sensor i una altra d'iguals característiques però segellada a la llum just a sota, i un registre de desplaçament horitzontal que es troba just a sota de la graella segellada.

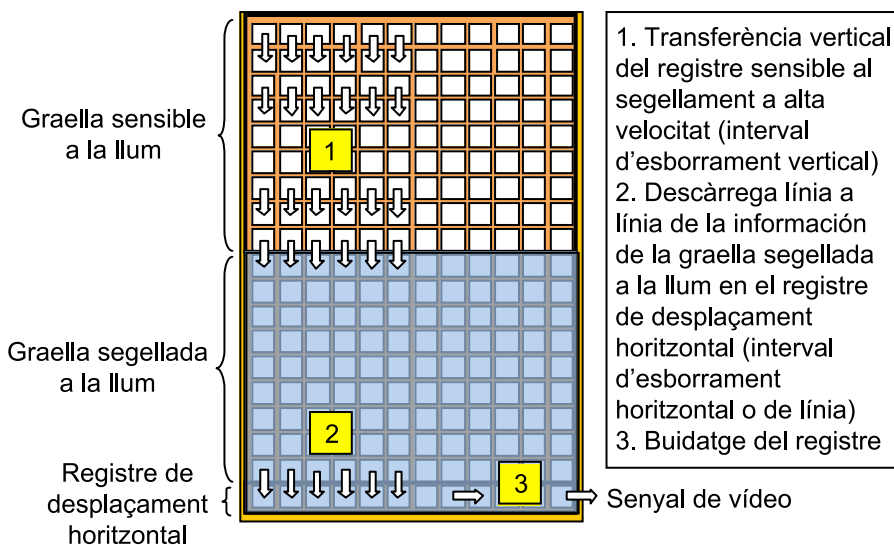
Les dues graelles tenen la mateixa quantitat de píxels i han de ser aproximadament el resultat de multiplicar la quantitat de píxels horitzontals pels verticals. De manera que si una càmera de vídeo de qualitat estàndard pot tenir una resolució de 720 x 575 píxels, cada graella tindrà uns 414.720 píxels, en canvi el sensor d'una càmera de vídeo d'alta definició en pot tenir 1.920 x 1.080, és a dir, prop de 2.073.600 píxels o 2 megapíxels, i una fotogràfica digital pot tenir prop de 9.980.928 píxels o 10 megapíxels, és a dir, 3.648 x 2.736 píxels a cada graella. De tota manera aquests valors són aproximats, ja que cada fabricant sempre reserva una quantitat de píxels com a marges de seguretat del sensor, de manera que si hi ha un petit error de posició relativa entre la imatge i el sensor, la imatge es continua captant correctament.

Marges de seguretat

Es pot destacar que en realitat no tots els píxels d'un sensor són sempre efectius a l'hora de crear la imatge. En el sentit que sempre es trobarà una quantitat superior de píxels que la que té la imatge, ja que no sempre coincideix a la perfecció la projecció de la imatge sobre el sensor amb l'estructura de píxels. És per aquesta raó que habitualment els sensors tenen una certa quantitat de píxels que actuen com a marges de seguretat perquè la totalitat de la imatge quedi captada correctament.

S'ha comentat que, just a sota de la graella segellada a la llum, hi ha un registre de desplaçament horitzontal. Aquest registre és l'encarregat de treure del sensor el senyal corresponent a cada línia de televisió, i aquest procés el fa línia a línia. Per aquest motiu el registre tan sols té capacitat per a emmagatzemar els píxels d'una línia, i en el període corresponent a una línia n'actualitza el contingut.

Figura 17. Esquema en el qual es poden veure l'estructura i etapes de funcionament d'un sensor del tipus *frame transfer*.



Anàlisi en detall del funcionament del sensor en vídeo

Durant el temps corresponent a un camp, la graella sensible a la llum, rep la imatge de l'òptica. Això fa que els fotons de llum incident generin càrregues elèctriques, i aquestes càrregues s'acumulen i emmagatzemen en cada una de les cel·les. En l'interval corresponent a les 25 línies d'esborrament vertical de camp, totes les càrregues elèctriques de cada píxel es transfereixen a la graella segellada a la llum.

Com que cada píxel de la graella exposada a la llum té el seu homònim en la graella segellada a la llum, en fer la transferència vertical de registre, tota la càrrega elèctrica corresponent a cada píxel exposat a la llum es transfereix al píxel que li correspon en la graella segellada. Cal dir que la velocitat de transferència és molt alta (1,6 ms) en comparació amb el temps que el sensor requereix per a emmagatzemar la càrrega (18,4 ms). Més endavant es veurà la importància d'aquesta diferència de temps.

Una vegada acabat el procés de transferència vertical, la graella sensible a la llum torna a començar el procés de càrrega de píxels (que tornarà a durar 18,4 ms). Mentre té lloc aquest procés, la càrrega elèctrica emmagatzemada en la graella segellada a la llum es transfereix línia a línia sobre el registre de desplaçament horitzontal.

El buidatge de la graella segellada a la llum al registre de desplaçament horitzontal es fa línia a línia i en dues etapes cada línia:

La primera etapa dura l'interval anomenat *d'esborrament horitzontal* (12 microsegons) i correspon al temps que es requereix per a transferir la càrrega al registre de desplaçament horitzontal. L'altra etapa, que dura el temps corresponent a la línia activa (52 microsegons), és el temps que necessita el registre de desplaçament horitzontal per a buidar-se. Lògicament aquest procés de transferència al registre de desplaçament horitzontal es repeteix tantes vegades com línies actives tingui la imatge (575 en definició estàndard a Europa, i 720 o 1.080 en alta definició), fins que la graella segellada queda totalment buida. En aquest punt torna a començar el procés sencer.

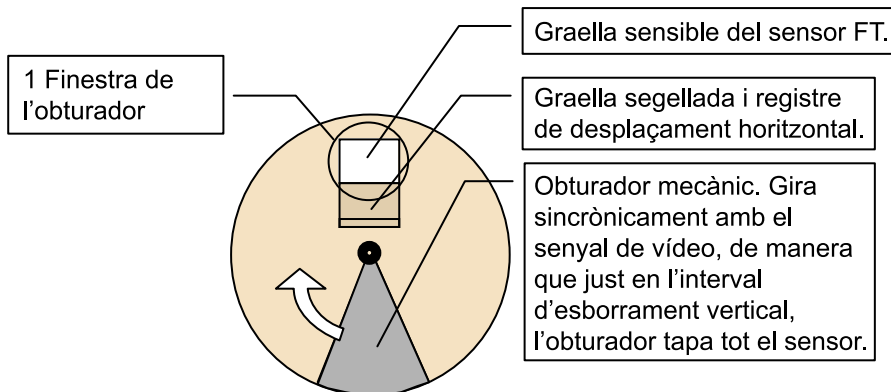
Resumint, per a cada fotograma se segueix aquest procés: la imatge es carrega en cada píxel de la graella superior sensible a llum; una vegada carregada, tota la càrrega elèctrica es transfereix a alta velocitat a la graella segellada a la llum, que lentament buidarà el seu contingut línia a línia sobre el registre de desplaçament horitzontal, mentre en la graella sensible a la llum es va emmagatzemant el fotograma següent.

Aquest sistema de treball té un problema important. Durant el procés de transferència de la graella sensible a la llum a la segellada, les càrregues elèctriques es van transferint verticalment d'un píxel al de baix, fins a arribar a la seva destinació. Això implica que si en alguna part de la imatge hi ha algun punt d'alta intensitat lluminosa (un reflex, un focus de llum, el sol, etc.) durant el procés de transferència vertical, fins i tot essent molt ràpid, tots els píxels que hi ha a sobre d'aquest punt de llum quedaran lleugerament contaminats pel raig de llum que continua incidint sobre el sensor. Això es tradueix en l'aparició d'una ratlla vertical lluminosa anomenada *smear*. Com

s'ha vist més amunt, aquest fenomen es produeix perquè durant la transferència de càrregues el sensor continua rebent llum de l'exterior, que contamina la imatge.

Per a minimitzar l'efecte de l'*smear*, el *frame transfer* utilitza un obturador mecànic en forma de pala, que gira sincrònicament sobre el sensor. De manera que, quan s'ha de fer la transferència vertical del registre sensible a la llum al registre segellat, l'obturador tapa la llum que incideix sobre el sensor. Així es pot fer la transferència sense témer la contaminació lluminosa.

Figura 18. Esquema de l'obturador mecànic utilitzat en el CCD *frame transfer*



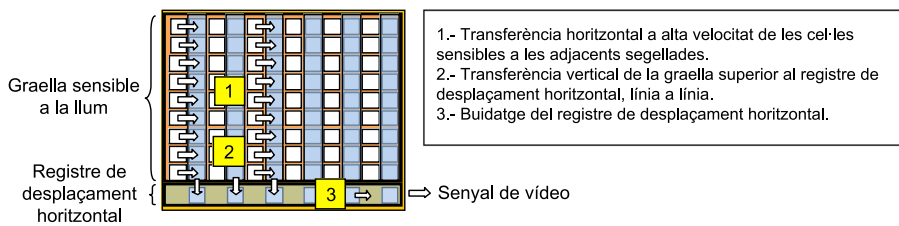
Aparentment aquest sistema tan senzill és una solució molt bona, ja que realment redueix molt l'efecte *smear*. De tota manera, cal saber que les càmeres de vídeo professionals no porten solament un sensor, sinó que porten tres CCD. Un, per a cada component de color R, G i B. Per això es requereix un obturador per a cada sensor, la qual cosa implica càmeres molt grans, consum elèctric, en alguns casos un lleuger soroll de baixa freqüència, i fins i tot en alguns casos extrems en una petita tremolor d'imatge, sobretot quan l'òptica de la càmera es troba en posició de teleobjectiu.

Amb el pas del temps, la tecnologia dels obturadors ha millorat molt i actualment els inconvenients comentats són pràcticament menyspreables.

Interline transfer (IT)

Aquest tipus de sensor consta de les mateixes graelles de captació que el *frame transfer*, però amb una disposició diferent, ja que en lloc de tenir una graella a sobre de l'altra, en aquest cas, estan barrejades. De manera que hi ha una columna de píxels sensibles a la llum i just al costat hi ha una altra columna homòloga a l'anterior però segellada a la llum amb una fina tira d'alumini. És a dir, que el sensor està format per una sèrie de columnes de píxels, uns de sensibles i els altres segellats a la llum, intercalats entre ells, en què cada píxel sensible a la llum té just al costat el seu homòleg segellat a la llum.

Figura 19. Esquema en el qual es poden veure l'estructura i etapes de funcionament d'un sensor del tipus *interline transfer*



Aquesta estructura permet que la càrrega emmagatzemada en un píxel sensible es transfereixi ràpidament al píxel adjacent. Una vegada tota la càrrega elèctrica és en aquest punt, la resta del procés es fa de manera segellada a la llum, per la qual cosa aparentment ja no hauria de ser un problema que un punt d'alta intensitat de llum continués incidint sobre la graella de sensors.

Anàlisi en detall del funcionament del sensor en vídeo

Durant l'interval corresponent al període de creació de la imatge en el sensor, és a dir 18,4 ms, els píxels sensibles a la llum es carreguen i emmagatzemen la càrrega elèctrica. En el temps corresponent a l'interval d'esborrament vertical de camp, la càrrega es transfereix dels píxels sensibles a la llum als píxels segellats adjacents. Posteriorment i més lentament, la informació es buida progressivament línia a línia sobre el registre de desplaçament horitzontal, de la mateixa manera en què ho fa el sensor *frame transfer*.

Durant el període actiu d'imatge, a més de la generació d'electrons útils com a conseqüència dels fotons incidents, es generen una sèrie de càrregues indesitjables. De fet, aquest fenomen passa en la majoria dels semiconductors. La quantitat de càrregues no desitjades és molt petita, però resulta proporcional al nivell de càrrega global acumulada en el sensor.

Desgraciadament, tal com passa en altres semiconductors, aquests portadors de càrrega paràsits apareixen de manera aleatòria i troben una via de propagació fàcil en el registre vertical. Per tant, es forma un mecanisme de propagació i contaminació de càrregues indesitjables en els registres verticals. Es pot destacar que aquest tipus de sensors han d'ubicar en un espai molt reduït una gran quantitat de píxels, i això implica que es troben molt pròxims entre ells.

Com més alt és el nivell de llum incident, més alt és el grau de contaminació. D'aquesta manera, els sensors *interline transfer* produeixen el molest *smear* vertical, el nivell del qual és proporcional al següent:

- L'altura del punt de sobreexposició a la graella sensible.
- La longitud d'ona de la llum (es genera més quantitat de càrregues per a longituds d'ona llargues, és a dir, vermells i infrarojos).
- L'amplitud de la mateixa sobreexposició.
- La velocitat del desplaçament vertical, al registre de desplaçament horitzontal.

En aquest tipus de sensors el desplaçament vertical es fa d'una manera relativament lenta (18,4 ms), la qual cosa dóna temps perquè s'acumulin i dispersin les càrregues paràsites. És justament l'element temps el que constitueix la clau del sensor *interline transfer*. La dependència de la longitud d'ona tendeix a fer que la tira de *smear* vertical aparegui vermellosa, la qual cosa li dóna una aparença subjectivament més desagradable.

En els últims anys s'han fet passos molt importants en els sensors *interline transfer* més moderns per a minimitzar l'efecte de l'*smear*. Els millors sensors actuals asseguren que el nivell efectiu de *smear* es troba a 80 dB⁶ per sota del

nivell corresponent a una imatge normalment exposada, i per tant invisible a l'ull. De tota manera, un punt de llum excepcionalment intens (per exemple, més de 4 diafragmes per sobre de l'exposició normal) generarà el molest efecte.

⁽⁶⁾El decibel és una mesura que permet avaluar múltiples magnituds com la potència, el voltatge elèctric, i també el nivell de pressió sonora. Una de les seves característiques principals és que, en augmentar de magnitud, aquest segueix una proporció logarítmica en lloc de fer-ho linealment.

Frame transfer enfront d'interline transfer

Com s'ha vist, el *frame transfer* elimina el problema de l'*smear* utilitzant un obturador mecànic, que s'ha comentat que pot generar problemes d'estabilitat, vibracions i sorolls.

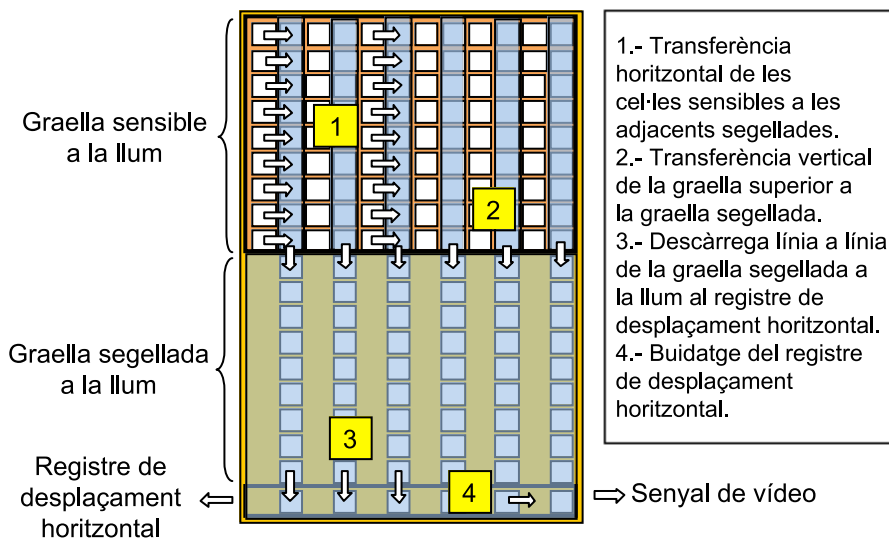
D'altra banda, l'*interline transfer* manté la filosofia de la utilització integral de l'estat sòlid. Si es dissenya adequadament, l'efecte de *smear* no és visible amb nivells d'exposició normal, i molt poc visible amb nivells de sobreexposició entre 3 i 4 diafragmes. Amb sobreexposicions de més de 4 diafragmes la visibilitat de l'*smear* augmenta de manera contínua.

Els operadors de càmera tendeixen a adaptar-se molt ràpidament a aquestes limitacions i aprenen a evitar, dins del possible, la presa de punts de llums molt alts, especialment quan es tracta de fonts de calor, tals com focus i làmpades halògenes.

Frame interline transfer (FIT)

Fixeu-vos que en aquest cas es tracta d'un sensor que barreja les millors característiques dels seus dos antecessors, ja que amaga la càrrega elèctrica ràpidament en les cel·les contigües segellades a la llum com l'*interline transfer*, i fa la transferència vertical de fotograma a alta velocitat, tal com ho fa el *frame transfer*.

Figura 20. Esquema en el qual es poden veure l'estructura i etapes de funcionament d'un sensor del tipus *frame interline transfer*.



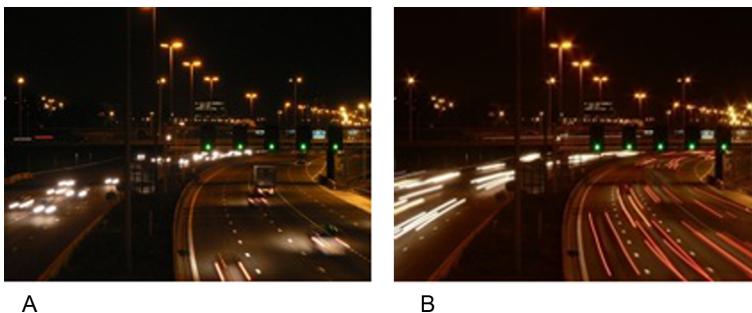
Exercici 6

Poseu una càmera fotogràfica en mode manual per controlar la velocitat d'obturació. En cas que la càmera no ofereixi la possibilitat de treballar en mode manual, es pot optar per escollir la modalitat de prioritat al diafragma (amb aquesta opció, la càmera escull automàticament el diafragma necessari perquè la fotografia quedi exposada correctament en funció del temps d'obturació que ha escollit l'usuari).

Busqueu algun motiu que es desplaci en moviment a alta velocitat (per exemple, una pilota), i fotografieu-lo amb un temps d'exposició lent (1/8 o 1/15). Possiblement, amb aquesta velocitat tan lenta la càmera escollirà o ens demanarà una obertura de diafragma molt tancada, amb el propòsit que la imatge no quedi sobreexposada.

Ara repetiu la fotografia amb un temps d'exposició molt curt (1/500 o 1/1000). En aquest cas la càmera escull o ens demana que obrim el diafragma per compensar el curt temps d'exposició de la imatge al sensor.

Figura 21



A. Fotografia presa amb un temps d'exposició reduït, és a dir, amb una alta velocitat d'obturació (font: Viquipèdia). B. Fotografia presa amb un temps d'exposició molt llarg, és a dir, amb una baixa velocitat d'obturació (font: Viquipèdia).

En els dos casos la imatge ha quedat exposada correctament, ja que el diafragma s'ha encarregat de compensar l'excés o falta de llum que oferia l'obturador. Però la definició del motiu en la imatge no és la mateixa en les dues fotografies. Tal com pensàvem, en la fotografia per a la qual s'ha utilitzat un temps d'exposició llarg, la imatge ha quedat amb fugues de moviment, mentre que la imatge que s'ha pres amb un temps d'exposició curt ha quedat amb els contorns correctament definits.

Cal tenir en compte, també que en modificar l'obertura del diafragma també queda afectada la profunditat de camp de l'escena fotografiada. És important recordar que, com més gran és l'obertura del diafragma, menys profunditat de camp s'obté i viceversa.

Aquest fenomen també és habitual en vídeo, i concretament el *frame interline transfer* (FIT), que permet modificar el temps d'exposició de cada cel·la del sensor a la llum. El temps d'exposició de la imatge en la càmera de vídeo es determina mitjançant un control denominat *obturador* o *shutter*. Aquest control permet indicar al sensor durant quin interval de temps ha de permetre que les cel·les rebin llum, i a partir d'un quant temps la resta de càrregues que continuïn arribant a les cel·les seran derivades a un canal de drenatge. Per tant, no contribuiran a la formació de la imatge final.

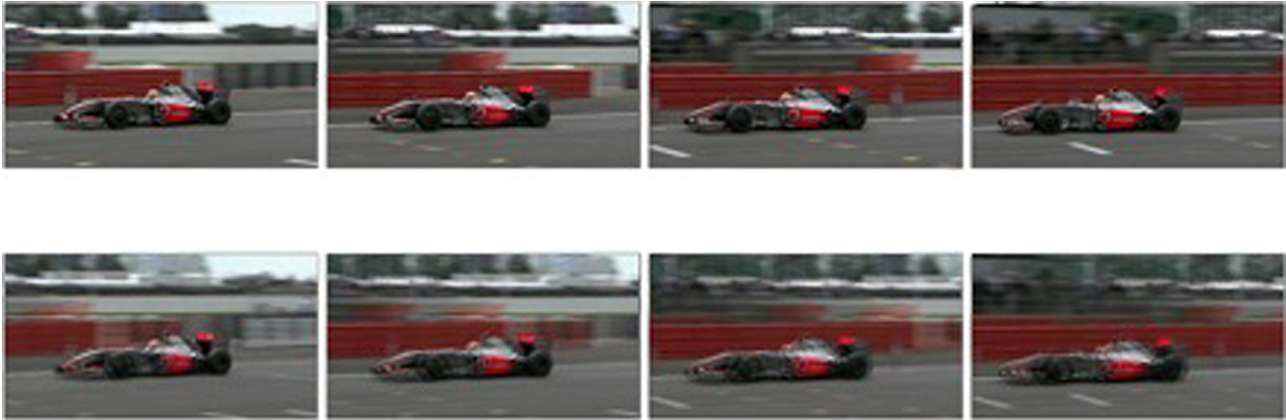
La conseqüència de modificar l'obturador en treballar en vídeo és que, si cada segon hi ha una gran quantitat de fotogrames consecutius, cada un quedarà amb fuga o nítid en funció del temps d'exposició utilitzat. I lògicament això repercutirà també en l'obertura de diafragma i, consegüentment, en la profunditat de camp.

Observació

Fixeu-vos que, en disminuir el temps d'obturació, el sensor rep llum durant menys temps, per la qual cosa s'ha de compensar la falta de llum obrint el diafragma. Fixeu-vos també que, com més gran és el diàmetre de l'obertura del diafragma, menor és la profunditat de camp aconseguida i viceversa.

El fet que el sensor FIT incorpori com a novetat un control d'obturació electrònica a cada píxel no implica que les càmeres que no hi ha en el mercat amb sensors FT o IT no permetin modificar la velocitat d'obturació, ja que aquest procés es pot fer posteriorment de manera electrònica.

Figura 22



Les quatre imatges superiors corresponen a una seqüència en la qual s'ha utilitzat una velocitat d'obturació elevada. En canvi, en les quatre imatges inferiors es pot veure l'efecte d'arrossegament provocat per la baixa velocitat d'obturació utilitzada.

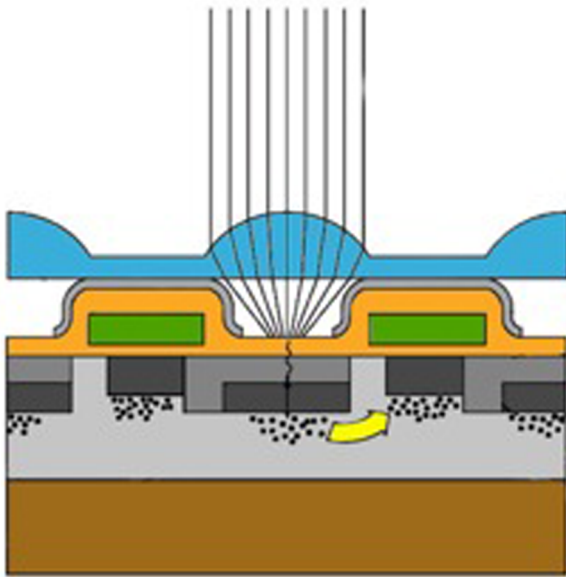
És molt habitual que, a la televisió, pels esdeveniments que acostumen a tenir un elevat nivell de moviment intern de pla o en els quals la càmera ha de fer moviments bruscos (panoràmiques o zoom a alta velocitat), per defecte s'esculli una velocitat d'obturació molt alta per a totes les càmeres. D'aquesta manera la imatge queda visualment més nítida, encara que en contrapartida el moviment no és tan continu, sinó que va més a batzegades.

Sensors HAD (*hole accumulation diode*)

Si s'analitza l'estructura d'un sensor tipus IT o FIT, es veurà que en els dos casos hi ha un important espai segellat a la llum entre columna i columna de píxels sensibles. Això es tradueix en una poca efectivitat lluminosa, és a dir, una gran quantitat de les partícules de llum que incideixen sobre el sensor no són captades per aquest, ja que no impacten directament sobre la regió corresponent al píxel sensible a la llum.

Per solucionar aquest problema i amb l'objectiu d'aprofitar tota aquesta llum, van aparèixer una sèrie de sensors denominats **Hyper HAD**, **Super HAD**, **Power HAD**, **Power HAD** i **EX view HAD**, que recullen la llum que no incideix de manera perpendicular al píxel sensible, mitjançant unes microlents convergents, ubicades just a sobre de cada píxel, i la refracten sobre l'àrea sensible. D'aquesta manera aconseguix millorar-se l'eficiència lluminosa en prop d'un 30%.

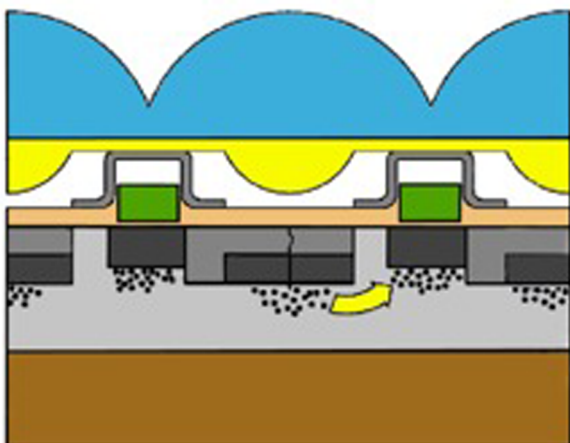
Figura 23. Esquema en el qual es pot veure l'estructura en detall d'un píxel en un sensor Hyper HAD



La diferència principal entre les diferents variants de sensors rau en la mida de les microlents i, conseqüentment, en la seva eficiència lluminosa. De manera que, per exemple, els sensors Super HAD i Power HAD utilitzen microlents més grans que el seu antecessor Hyper HAD.

Hi ha una versió evolucionada denominada Power HAD EX que, a més d'incorporar les microlents convergents exteriors com la resta de sensors, introdueix un conjunt de microlents just a sota per no permetre reflexions internes entre la lent i el píxel, de manera que aconsegueix augmentar encara més la sensibilitat del sensor.

Figura 24. Esquema en què es pot veure l'estructura en detall d'un píxel en un sensor Power HAD EX



La tecnologia dels sensors ha evolucionat fins al punt de modificar els materials semiconductors que formen el sensor, perquè arribi a ser extremadament sensible a longituds d'ona properes a la llum infraroja. D'aquesta manera és possible fabricar càmeres ideals per a aplicacions de seguretat o visió nocturna.

1.3.10. La captació d'imatge en color

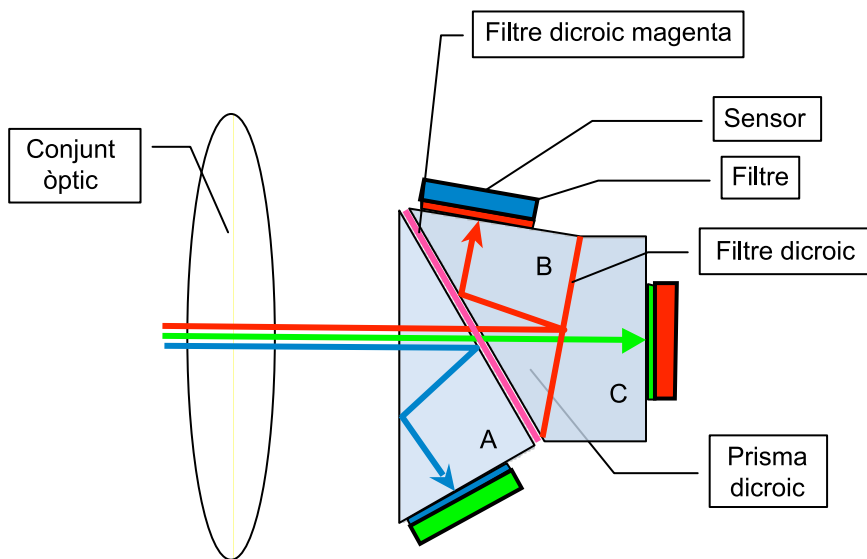
Fins ara s'ha explicat el funcionament dels sensors CCD, però no s'ha fet referència a com aquests sensors poden discernir els colors d'una imatge. En realitat, el sensor és incapaç de detectar la diferència entre un color o un altre, ja que tan sols és capaç de transformar fotons en energia elèctrica. És per aquesta raó que les antigues càmeres de vídeo en blanc i negre portaven un sol sensor i, en canvi, a partir de l'aparició del vídeo en color, la majoria de les càmeres de vídeo professional utilitzen tres sensors CCD.

El procés és molt simple: la imatge que prové de l'òptica arriba a un prisma anomenat *prisma dicroic*, format per un conjunt de tres prismes i dos filtres dicroics. El prisma dicroic és l'encarregat de separar la imatge en els seus components vermell, verd i blau, coneguts comunament per les seves sigles en anglès *red, green, blue* (**R, G i B**).

Els filtres dicroics, són un tipus de lents que tan sols deixa passar un color concret i rebutja la resta. De manera que un filtre dicroic de color magenta permet al component de color magenta que el travessi però, en canvi, absorbeix la resta de colors.

Una vegada separada la imatge en cadascun dels seus components, es procedeix a filtrar cada un amb un filtre del seu mateix color, per a assegurar-se que cap component que no sigui del color que es vol captar no arriba al sensor que no li correspon. És a dir, per assegurar-se que, per exemple, un component verd no arribi al sensor de llum vermella, i assegurar-se així que a cada sensor tan sols arriben els components del color que li correspon.

Figura 25. Esquema en què es pot veure l'estructura en detall del prisma dicroic, i com aquest aconsegueix separar per refracció els components R, G i B a partir de la llum blanca, per a enviar-los als sensors CCD.



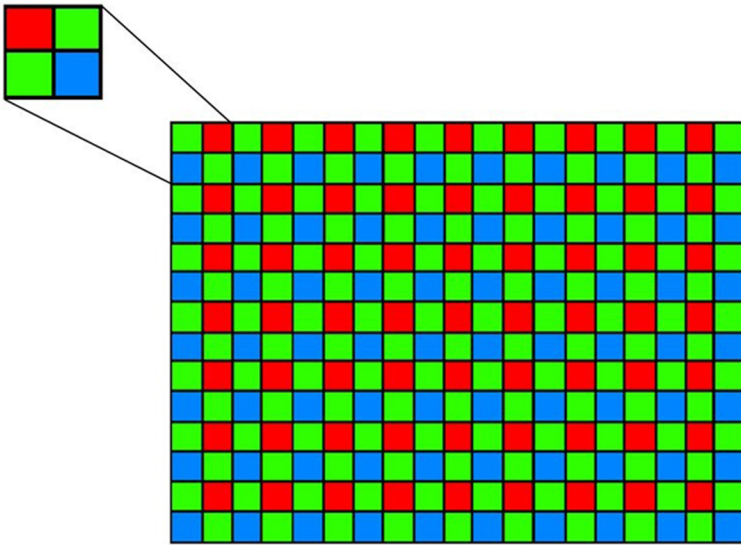
Tanmateix, aquesta manera de treballar es tradueix en una imatge de qualitat molt alta, però la mida del prisma i l'acoblament dels sensors es tradueix en una estructura molt gran, poc òptima per a aplicacions domèstiques o industrials. Per aquesta raó, per a aquest tipus d'aplicacions s'ha buscat una alternativa de pitjor qualitat, però que permet en gran manera la reducció de la mida dels dispositius.

El filtre de Bayer

En fotografia digital i càmeres de vídeo domèstic s'utilitza un sol sensor, i aquest ha de ser l'encarregat de captar els tres components de color conjuntament. Aquest procés és possible gràcies a la utilització d'un filtre format per petits microfiltres de cada un dels components R, G i B distribuït en forma de retícula regular, de manera que sobre cada cel·la del sensor hi ha un microfiltre de cada color.

Alguns fabricants dissenyen els seus propis filtres. De tota manera, el filtre utilitzat més comú és de Bayer, en honor al seu creador, el Dr. Bryce. E. Bayer, de l'empresa Eastman Kodak.

Figura 26. Esquema en el qual es pot veure la distribució dels microfiltres utilitzats en el filtre de Bayer.



L'ull humà no és sensible amb les mateixes proporcions als colors R, G i B. Concretament, el color verd aporta a la visió humana en un 59% la quantitat d'informació sobre la llum en una imatge, mentre que el 30% l'aporta el vermell, i l'11% restant l'aporta el blau. És a dir, que la llum a l'ull humà es percep en més proporció gràcies a l'aportació del component verd.

Per satisfer aquesta característica, l'estructura del filtre de Bayer no tracta tots els components de color per igual. Fixeu-vos que per cada filtre vermell i blau hi ha dos filtres verds. Això es tradueix en el fet que, si un sensor té una certa quantitat de píxels, la resolució d'imatge queda reduïda, ja que per a cada píxel no hi ha cada component de color, com en el cas de la utilització de tres CCD.

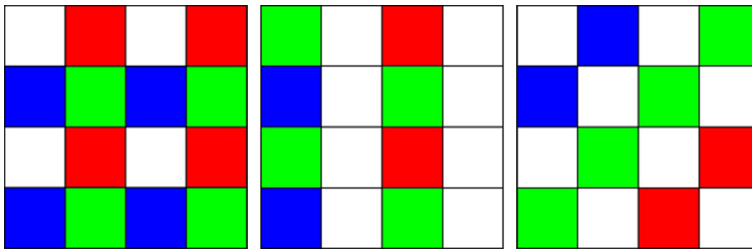
En realitat, la informació corresponent als colors que falten s'obté posteriorment mitjançant la interpolació de dades corresponents als colors captats correctament i a partir d'algoritmes matemàtics complexos.

El filtre RGBW

El sistema visual humà és més sensible a la llum que al color. Això significa que l'ull és molt més exigent en detectar formes, perfils i gammes de llum que en detectar petites variacions cromàtiques. Per a adaptar els sensors a les exigències de la visió, es va crear un nou filtre que aporta més eficiència lluminosa que el filtre de Bayer.

En aquest cas se sacrifiquen alguns dels píxels de color del filtre de Bayer en favor de nous filtres pancromàtics. Així, la llum blanca pot creuar el filtre i impactar contra el CCD, millorant l'eficiència lluminosa del sensor.

Figura 27. Esquemes en què es poden veure diferents configuracions del filtre RGBW.



Hi ha diferents combinacions de filtres RGBW. En algunes, la quantitat de píxels pancromàtics arriben a ser fins al 50% dels filtres. D'aquesta manera l'eficiència lluminosa del sensor augmenta considerablement.

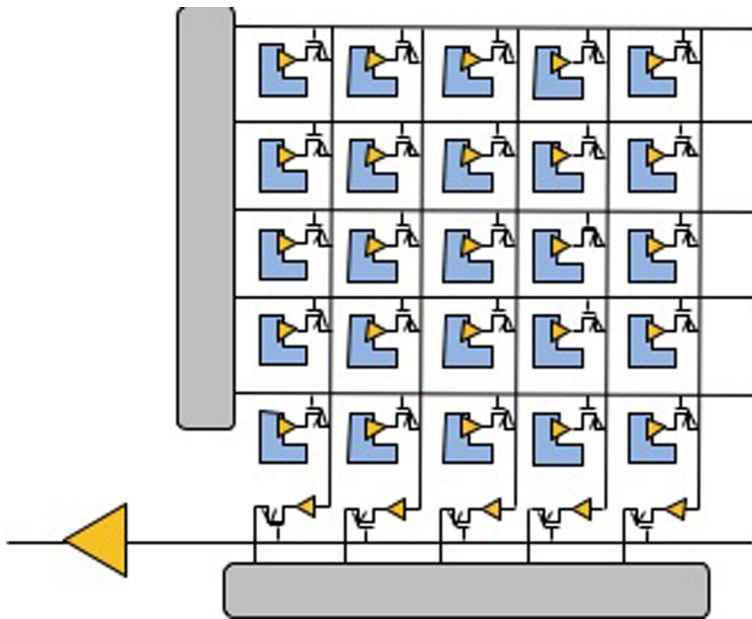
1.3.11. Els sensors CMOS

Els CMOS també es basen en la tecnologia dels semiconductors però, a diferència dels CCD, es pot extreure la informació de cada cel·la independentment sense haver de recórrer a la transferència de càrrega entre cel·les.

En un sensor CMOS, cada cel·la té el seu propi amplificador de senyal. D'aquesta manera, obtenint el senyal corresponent a l'amplificador de cada cel·la, aquesta pot enviar-se a la sortida del sensor sense témer la contaminació (*smear*).

En tenir cada cel·la el propi amplificador, la superfície efectiva de captació d'imatge quedava reduïda i, al seu torn, en tenir tants amplificadors com cel·les, si cada amplificador genera una quantitat de soroll encara que sigui molt petita, la suma del soroll s'acaba percebent en la imatge final. Actualment aquest soroll s'ha aconseguit minimitzar en gran manera, i s'han aconseguint sensors CMOS de gran qualitat d'imatge amb poc soroll.

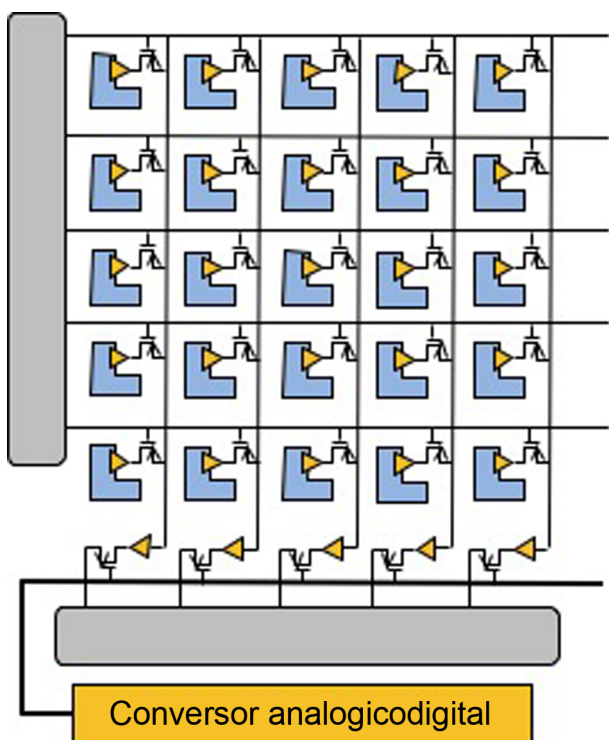
Figura 28. Estructura bàsica de la distribució de píxels i els amplificadors associats a cada píxel en un sensor CMOS



Una de les diferències principals que ofereixen els sensors CMOS respecte als CCD és que els CMOS preveuen la possibilitat d'incorporar un convertidor analogicodigital en el propi sensor, mentre que en el cas del CCD, el procés de digitalització es fa fora del sensor.

En conseqüència, quan els fabricants de dispositius audiovisuals adquireixen un sensor CMOS no s'han de preocupar del disseny del convertidor analogicodigital, ja que el preu final acaba essent inferior. Però, en contrapartida, els fabricants han d'acceptar el sensor amb la qualitat del convertidor que porta el mateix CMOS. És a dir, que els fabricants que requereixen uns paràmetres específics en la conversió analogicodigital s'hauran d'adaptar als paràmetres que incorpora el mateix CMOS o optar pels sensors CCD.

Figura 29. Estructura bàsica de la distribució de píxels i els amplificadors associats a cada píxel en un sensor CMOS, amb un convertidor analògicodigital en la sortida



Actualment, es poden trobar sensors CMOS del tipus 3 T, 4 T i, fins i tot, 5 T. Aquesta terminologia s'utilitza per a indicar la quantitat de transistors que utilitza cada cel·la. Alguns s'utilitzen per a amplificar el senyal que lliura la pròpia cel·la, però la resta d'amplificadors pot utilitzar-se, per exemple, per a tenir un control sobre el temps d'exposició de cada píxel (obturador electrònic). Evidentment, com més gran sigui la quantitat de transistors utilitzats al sensor, millor serà la qualitat i el control sobre el sensor, però també ho serà el preu final.

CCD enfront de CMOS

Les dues tecnologies van començar a crear-se simultàniament entre els anys seixanta i setanta. Però, en aquell moment, la tecnologia de disseny dels sensors CMOS no oferia uns resultats òptims en comparació del seu competidor CCD. No va ser fins als anys noranta, que van començar a aparèixer els primers sensors CMOS, vàlids per a l'explotació comercial.

En aquells moments els sensors CMOS permetien, en poc espai, tenir un sensor compacte, de consum molt baix i sobretot molt econòmic. De tota manera, la resolució d'imatge i el soroll que lliuraven no eren suficients per a superar les característiques dels sensors CCD. Per aquesta raó el seu mercat principal van ser, durant molts anys, els dispositius que requerien un baix consum i amb baixos nivells d'exigència de qualitat d'imatge, com els telèfons mòbils,

càmeres de videovigilància, càmeres web, etc. Per a aplicacions en les quals es requereixi un nivell de qualitat visual elevat, el CCD ha estat tradicionalment la tecnologia dominant, ja que genera un nivell de soroll reduït.

En el cas del CMOS, en tractar el senyal corresponent a cada cel·la separadament, és possible que cada cel·la treballi amb un rendiment lleugerament diferent de les altres. Per això, si sobre un grup de cel·les properes es projecta una imatge, en teoria totes haurien de lliurar un nivell de voltatge similar. Però si per petites imperfeccions en el disseny no totes les cel·les són idèntiques la resposta del sensor no és absolutament homogènia. En el cas dels CCD, aquest fenomen queda minimitzat a causa de la transferència de càrregues entre cel·les. De tota manera, actualment la majoria de sensors CMOS que apareixen en el mercat ja incorporen sistemes de realimentació que permeten detectar aquest fenomen i minimitzar-lo electrònicament.

En l'actualitat no hi ha una clara divisió que separi els dos tipus de tecnologia, ja que els dissenyadors de sensors CMOS han fet un gran esforç per aconseguir sensors amb una gran qualitat d'imatge, i els dissenyadors de sensors CCD han intentat reduir el consum del sensor i la mida dels píxels. De tota manera, el procés de fabricació de CMOS pot fer-se en qualsevol cadena de muntatge de microxips; en canvi, per a dissenyar els CCD es requereixen unes condicions d'aïllament ambiental i complexes instal·lacions que encareixen el preu del sensor i en dificulten la distribució a gran escala.

En l'actualitat ja es poden trobar sensors CMOS, des de dispositius de baixa qualitat (telèfons mòbils, càmeres web, etc.) fins a càmeres fotogràfiques i cinematogràfiques d'alta definició. És a dir que el temps serà qui decideixi si alguna de les dues tecnologies acaba imposant-se o, al contrari, si es manté la situació actual, en què cada fabricant escull el sensor que millor cobreix les seves expectatives i continuen convivint de manera complementària.

1.4. Problemes

Pràctica 1

Busqueu a Internet les característiques tècniques d'un model de cada tipus de càmeres explicades anteriorment i elaboreu una taula en què es puguin veure les diferències principals, com el tipus d'òptiques, sensors utilitzats (tipus i mida), resolució de la imatge, capacitat per a processar el senyal, tipologia d'interfícies de connexió entre la càmera i altres dispositius i preus.

Observació

Fixeu-vos que actualment el mercat tendeix a integrar en un sol dispositiu múltiples funcions; per aquesta raó, amb un telèfon mòbil ja es poden fer fotografies, gravar en vídeo o, fins i tot, veure la televisió; o les càmeres de vídeo permeten fer fotografies, i les càmeres fotogràfiques digitals permeten gravar en vídeo.

Pràctica 2

En funció del fabricant sovint apareixen en el mercat diferents sensors i cada un pot anar associat a un filtre diferent. Observeu, en l'adreça <http://www.dxomark.com/index.php/eng/Technologies/Super-CCD>, l'exemple d'un tipus de sensor diferent dels estudiats. Busqueu les diferents estructures de filtres que trobeu i enumereu-ne les característiques i diferències principals.

Pràctica 3

En aquesta activitat s'ha explicat l'efecte moiré i s'ha comentat que, en la majoria de casos, les càmeres l'eliminen mitjançant un filtre òptic o mitjançant un processament digital. De tota manera, habitualment fins que, per exemple, no s'ha pres la fotografia, l'efecte pot visualitzar-se en la pantalla de la càmera.

Busqueu una imatge que forci el sensor a crear moiré i feu la prova per veure si la vostra càmera té la capacitat d'eliminar aquest efecte.

2. Activitat 2. Digitalització de la imatge: mostreig, resolució i mida

2.1. Introducció

En el procés de conversió o digitalització d'un senyal intervenen principalment dues etapes, que sempre es troben unides, en què cada una defineix una sèrie de paràmetres que repercuteixen en la qualitat de la imatge final. Habitualment, aquests processos s'expliquen seqüencialment i així és com es plantegen en aquestes activitats.

1) En el procés de digitalització hi ha, com a primera etapa, el **procés de mostreig**. Aquest condiona directament la resolució de la imatge, que dependrà directament de la mida de la imatge. I és justament aquest procés l'eix d'estudi d'aquesta activitat.

2) En la segona etapa, es troba la **quantificació** i la **codificació** de la imatge. En aquest cas es podrà observar la relació entre la quantitat de bits amb què es codifica la imatge, i la profunditat de color que aquesta suporta en cada cas.

Vegeu també

Aquesta segona etapa és el que s'estudia en l'apartat 3, sobre la quantificació i profunditat del color.

2.1.1. Contingut

Una de les operacions que s'acostumen a dur a terme constantment en les aplicacions audiovisuals és, justament, la modificació de les propietats d'una imatge, de manera que les característiques de mida, resolució, relació d'aspecte de píxel, profunditat de color, etc. són adaptades als requeriments de cada situació. Podrem veure que, en modificar aquests paràmetres, en realitat estem operant sobre els mateixos processos que intervenen en un convertidor analógico-digital.

En aquesta activitat, es pot avaluar una de les etapes del procés de conversió analógico-digital que es denomina *mostreig*. I, al seu torn, es podrà visualitzar de quina manera afecta modificar els paràmetres que controlen el mostreig sobre la imatge final.

En aquesta activitat es practicarà la relació entre els conceptes de resolució, mida d'imatge, relació d'aspecte de píxel i la seva vinculació amb el mostreig d'una imatge en un convertidor analógicodigital.

2.1.2. Metodologia

L'eix central de l'activitat són justament el conjunt d'exercicis plantejats, i posteriorment hi ha la justificació de cada un des del punt de vista teòric. Per tant, fins que no s'ha acabat de llegir tot l'exercici (teoria i pràctica) és possible que no es comprenguin tots els conceptes explicats.

Per aquesta raó és important acabar l'exercici sencer, i si malgrat això sorgeixen dubtes poden fer-se exercicis complementaris també proposats.

2.1.3. Recursos

Per oferir a l'estudiant la possibilitat de fer les pràctiques amb un programari amb el qual pugui treballar de manera habitual, les activitats s'han plantejat per poder fer-les amb Photoshop i altres programes de programari lliure, com Easy Mosaic.

2.2. Objectius

L'objectiu d'aquesta activitat és que l'estudiant adquireixi els coneixements necessaris per a entendre com afecta el procés de mostreig sobre una imatge, i que a partir de dominar-los pugui escollir en cada moment els paràmetres que s'adaptin millor a les seves necessitats.

Aquests objectius estan relacionats amb les competències següents de l'assignatura:

- 1) Capacitat de capturar àudio i imatges de manera eficient i eficaç.
- 2) Capacitat de digitalitzar eficientment i eficaçment continguts d'àudio i imatge.
- 3) Capacitat d'operar de manera digital amb senyals digitals d'àudio i imatge.

I amb les competències del grau següents:

- 1) Ser capaç d'analitzar un problema en el nivell d'abstracció adequat a cada situació i aplicar les habilitats i coneixements adquirits per a abordar-lo i resoldre'l.
- 2) Capturar, emmagatzemar i modificar informació d'àudio, imatge i vídeo digitals aplicant principis i mètodes de realització i composició del llenguatge audiovisual.

3) Atendre adequadament consultes sobre projectes, tecnologies i mercat de productes multimèdia avaluant de manera precisa l'entorn d'aplicació, els recursos i les alternatives tecnològiques disponibles.

2.3. Guia

2.3.1. Introducció

Actualment, la majoria d'aplicacions audiovisuals parteixen de la manipulació de materials totalment digitals. Això significa que el contingut amb què es treballa pot partir d'una font analògica, que ha estat digitalitzada prèviament mitjançant una targeta conversora d'analògic a digital, o que ja des d'un origen⁷ es lliura la imatge directament en un format digital.

⁽⁷⁾Per exemple: el sensor CCD d'una càmera.

És de vital importància que quan es vulgui manipular digitalment un material que en origen és analògic, el procés de conversió d'analògic a digital sigui el més precís i de qualitat possible. Si no, si la conversió no és òptima, posteriorment la qualitat d'aquest material no podrà ser millorada satisfactòriament en processos digitals. Sempre hi ha la possibilitat d'intentar millorar la qualitat d'un material defectuós, però sens dubte en tots els casos serà millor partir d'un material original de bona qualitat.

Per aquesta raó, en aquesta activitat es volen estudiar les característiques d'un **convertidor analògicodigital d'imatge**, analitzant cada una de les seves etapes i els paràmetres al quals afecta cada etapa de la conversió. Una vegada s'entenen els paràmetres que intervenen en el procés de conversió, ja s'està en condicions de comprendre com es manipulen les fonts que des de l'origen lliuren el material directament de manera digital.

2.3.2. La resolució d'imatge

Sens dubte una de les obres més impressionants de Michelangelo Buonarroti (Miquel Àngel) va ser la **capella Sixtina**, que es troba a la Ciutat del Vaticà. Quan el 1505 el papa Juli II va encarregar a Miquel Àngel la decoració de la volta, aquest va fer construir una bastida d'uns 17 m d'alçària, per poder pintar el fresc a pocs pams de distància del sostre de la capella. Es diu que al llarg dels quatre anys que va estar pintant, una gran quantitat de pintura i brutícia li va anar a parar als ulls, motiu pel qual va perdre molta visió.

Figura 30. Imatge en del sostre de la capella Sixtina



Font: Viquipèdia

L'obra consta de gairebé 400 figures de diferents mides que tenen una claredat i un detall excepcionals. Un dels inconvenients principals va ser que quan es va desmuntar la bastida i es va observar l'obra des de terra, la majoria d'aquests detalls no es podien apreciar a tanta distància. Intuïtivament es podria deduir que el detall d'una imatge s'ha d'establir en funció de la mida d'aquesta i la distància a la qual es veurà.

Figura 31. Imatge d'una de les escenes del Gènesi: "La creació". El detall dels frescos és excepcional.



Exercici 1

Per fer aquesta pràctica s'utilitzarà un programa per a la creació de mosaics, és a dir, la creació d'una imatge a partir d'altres imatges més petites. Hi ha una gran quantitat d'aplicacions que permeten generar aquest tipus d'efecte, per exemple, el programa **Andrea Mosaic** per als que treballin amb PC, o el programa **MacOSaiX**, per als que utilitzin MAC. En aquest cas s'utilitza la versió d'avaluació (versió trial) del programa **Easy Mosaic**, que també es pot aconseguir de manera gratuïta a <http://ezmosaic.com/>.

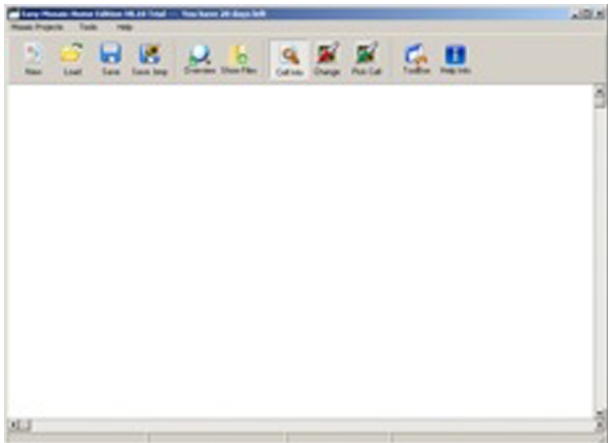
Per a fer la pràctica, s'haurà d'escollir un grup d'imatges a partir de les quals es podrà crear el mosaic final. I també s'haurà de buscar la imatge de referència final per a la creació del mosaic.

Passos que s'han de seguir

1) Pas 1

Instal·lar i executar el programa. Es podrà observar que la interfície és senzilla i amena.

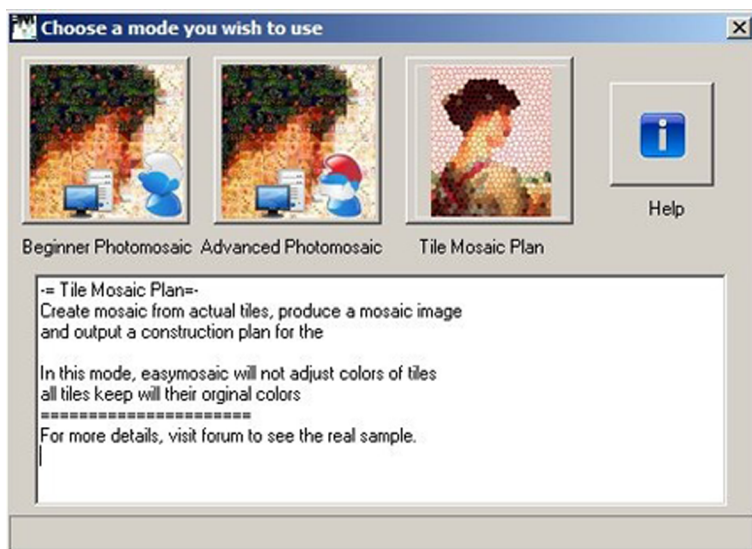
Figura 32. Pantalla d'inici del programa Easy Mosaic



2) Pas 2

Seleccionar la pestanya *New* per a crear un projecte nou. En aquest punt apareixen tres opcions de treball en funció de la complexitat i qualitat del resultat final. En l'exemple proposat s'ha optat per la més senzilla de totes, *Beginner Photomosaic*. De tota manera, si es vol que el resultat final sigui de més qualitat es pot optar per qualsevol de les altres modalitats.

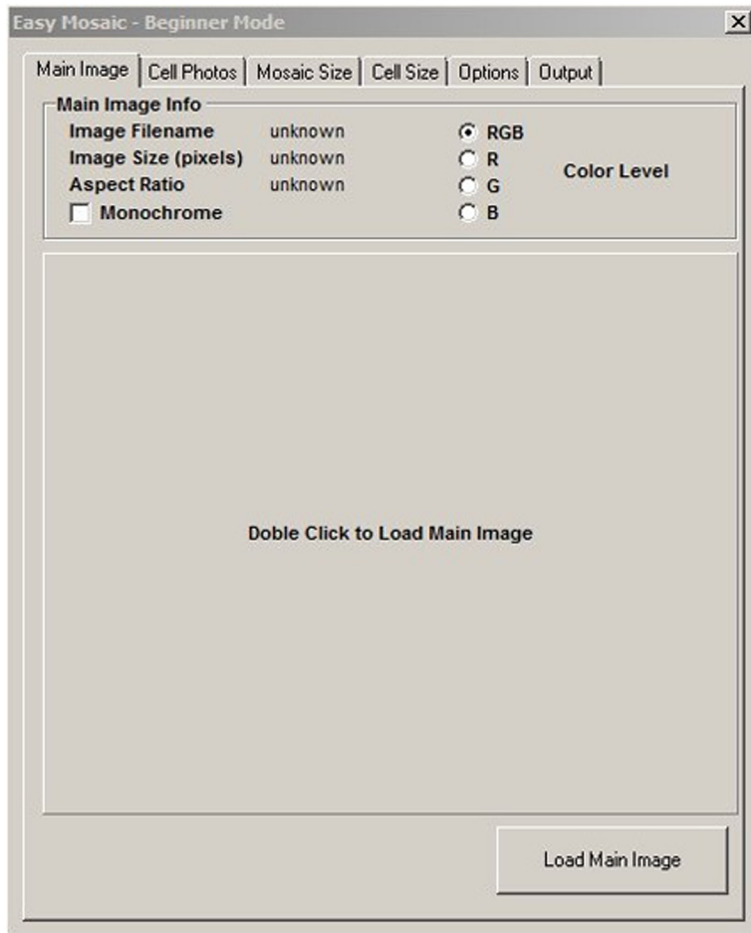
Figura 33. Imatge de la pantalla en la qual s'escull el perfil de treball en l'aplicació Easy Mosaic.



3) Pas 3

Una vegada seleccionada l'opció *Beginner Photomosaic*, és necessari especificar la imatge que es vol acabar representant amb el mosaic. La selecció es fa mitjançant la pestanya *Load Main Image*.

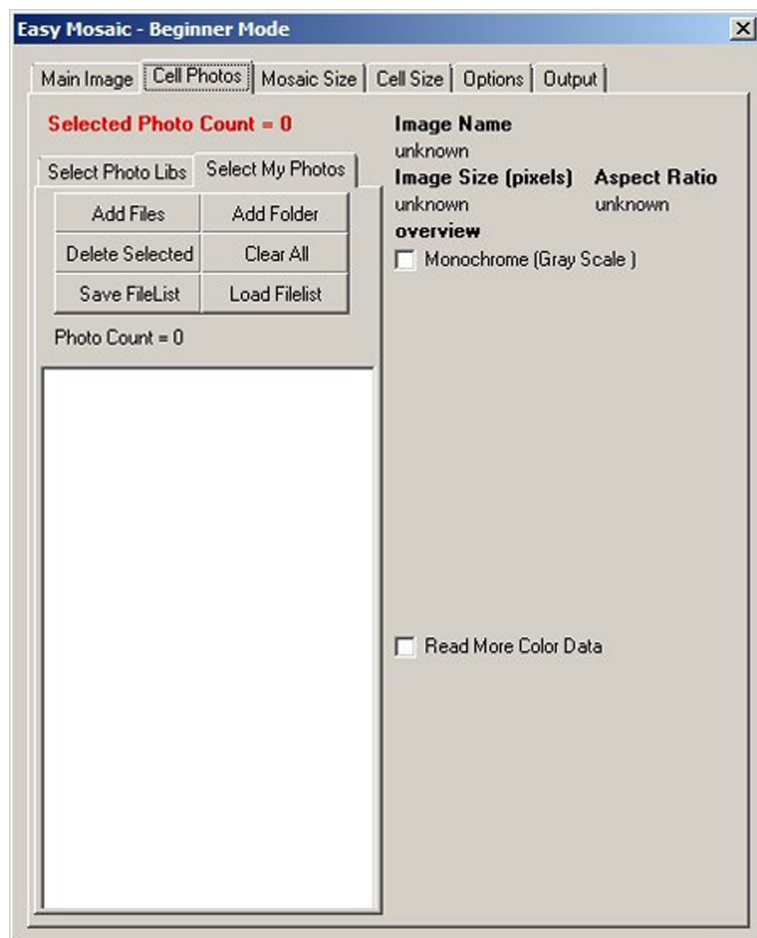
Figura 34. Pantalla de selecció de la imatge que ha de servir com a referència per a la creació del mosaic final.



4) Pas 4

En la pestanya *Cell Photos* s'han de seleccionar les imatges origen a partir de les quals es vol crear el mosaic. Es pot seleccionar directament una carpeta que contingui totes les imatges *Add Folder* o seleccionar un grup d'imatges mitjançant l'opció *Load Filelist*.

Figura 35. Pantalla de selecció del conjunt de fotografies que s'han d'utilitzar per a la creació del mosaic.



5) Pas 5

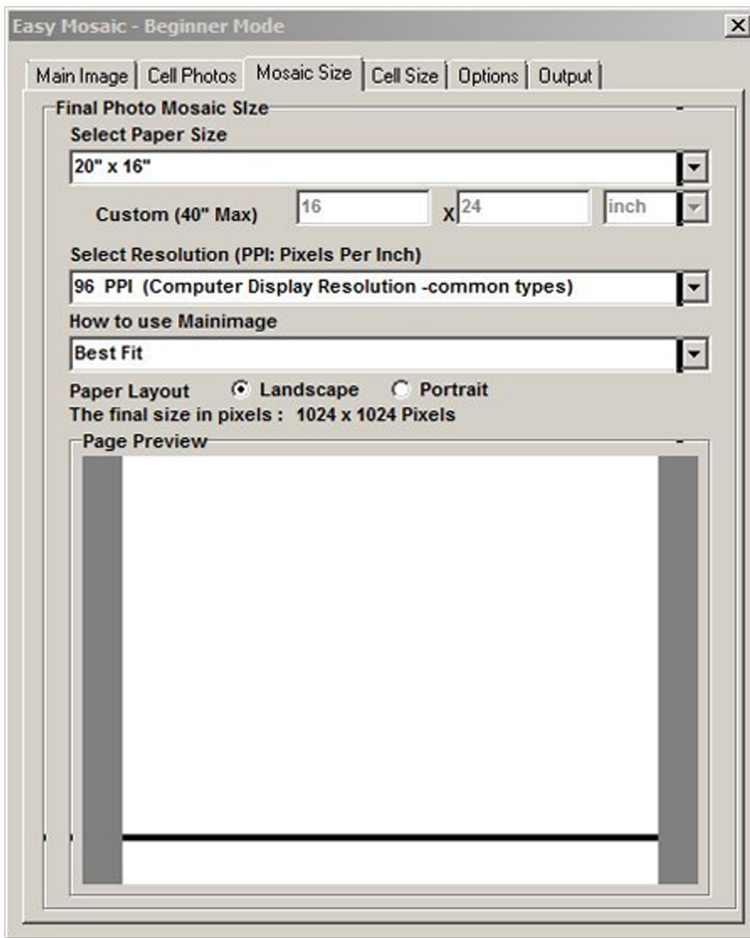
En la pestanya *Mosaic Size*, es pot seleccionar la mida del document final, com també la seva resolució.

En funció del format de visualització final es pot escollir entre diferents resolucions.

Exemple

Per exemple: visualització en la pantalla d'un ordinador, impressió, etc.

Figura 36. Pantalla de selecció de la mida final que ha de tenir el mosaic final.



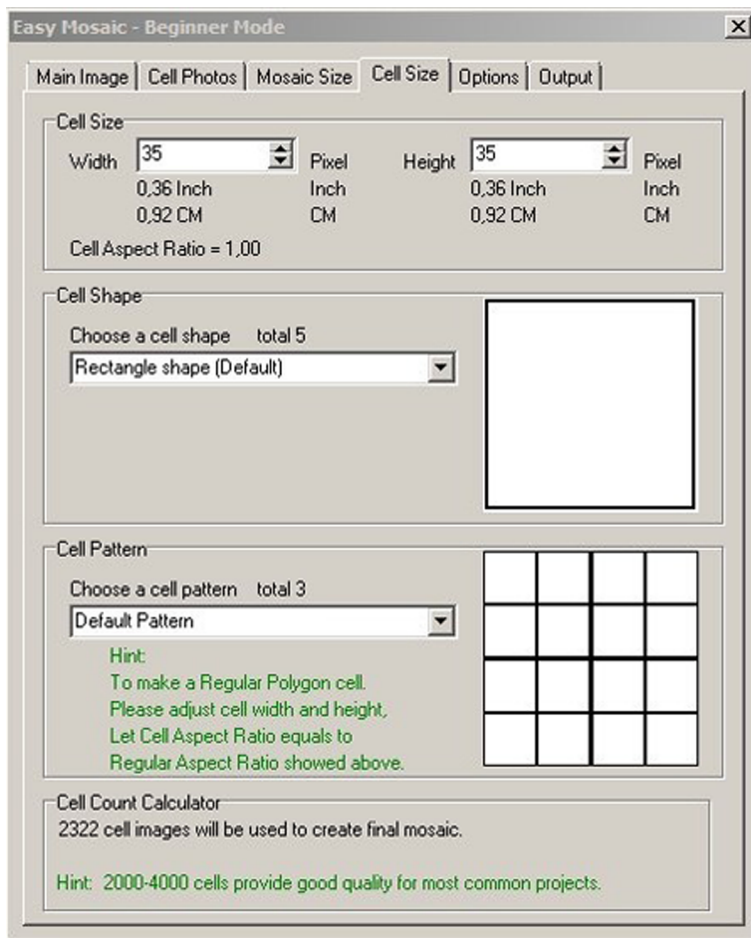
6) Pas 6

En la pestanya *Cell Size* s'escull la mida de cada una de les cel·les que construiran la imatge final.

Lògicament, com més petita sigui la cel·la, més quantitat de cel·les hi haurà i, per tant, millor serà també la definició de la imatge final. En aquesta versió d'avaluació, la quantitat de cel·les en la imatge final es limita a 5.000.

Una altra de les opcions que ofereix el programa és escollir la geometria de les cel·les i el patró amb el qual aquestes es distribueixen en la creació del mosaic.

Figura 37. Pantalla de selecció de la mida i geometria de les cel·les que s'utilitzaran per a fer el mosaic.

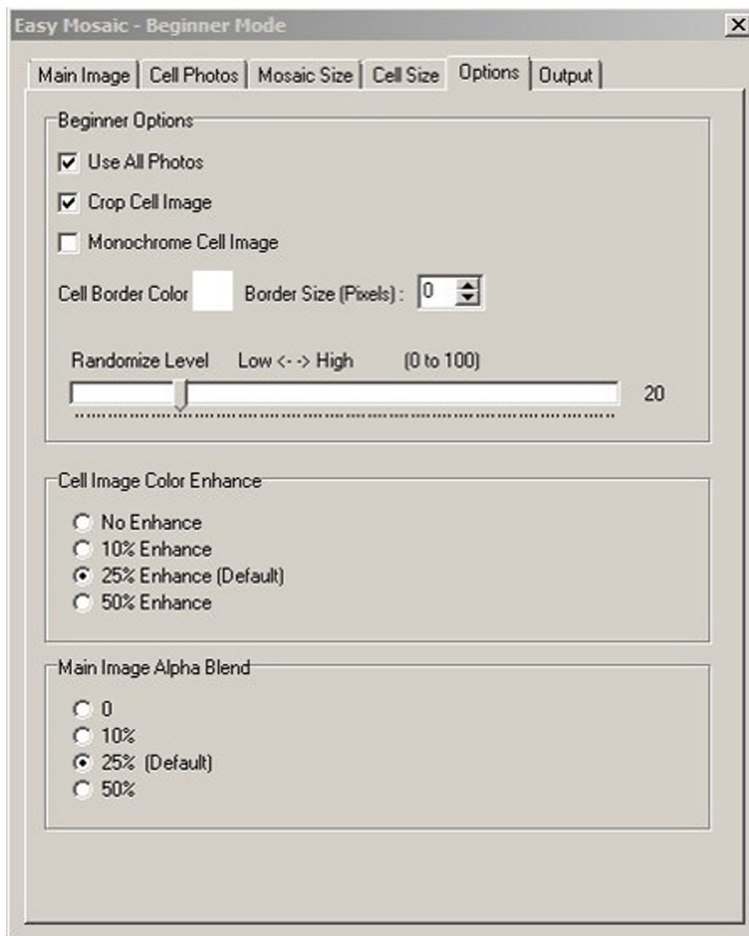


7) Pas 7

En la pestanya **Options** de la figura 38, s'ofereix la possibilitat que l'usuari decideixi si vol utilitzar totes les fotografies d'origen per a crear el mosaic, si aquestes es poden retallar o si les converteix en blanc i negre.

També ofereix la possibilitat de definir el grau d'aleatorietat en la distribució de les imatges d'origen, com també de permetre al programa modificar el color o la transparència de les imatges.

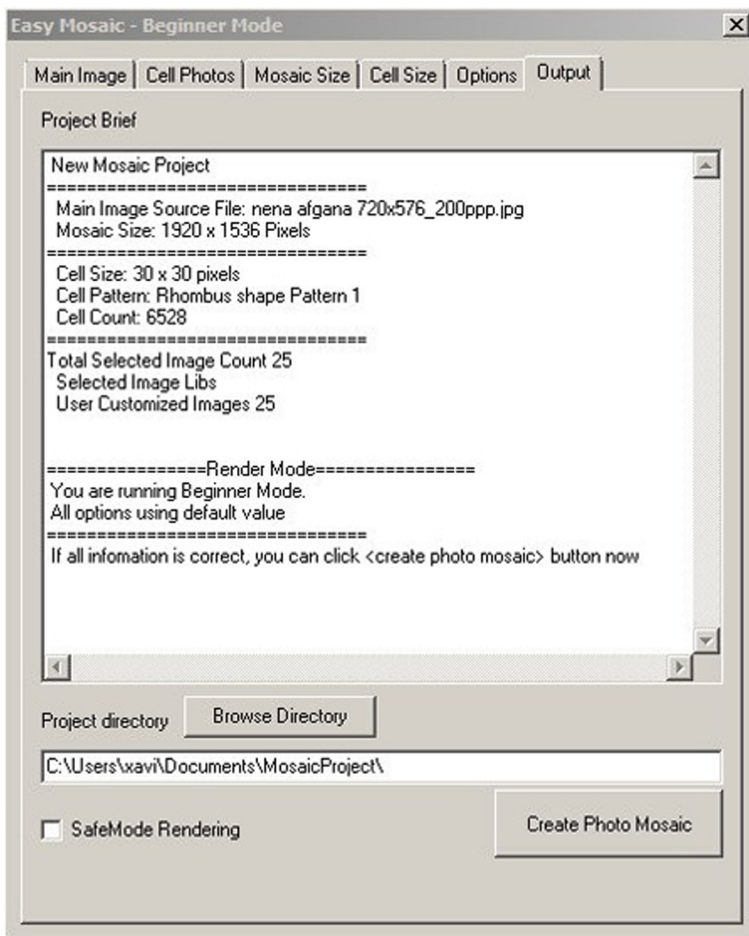
Figura 38. Pantalla de selecció de la mida i geometria de les cel·les que s'utilitzarà per a fer el mosaic.



8) Pas 8

L'últim pas consisteix a executar el mosaic en la pestanya **Output**.

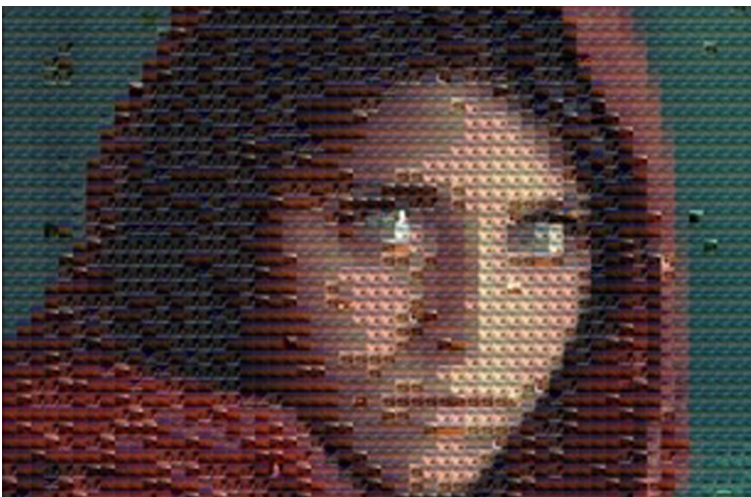
Figura 39. Pantalla de selecció de la ubicació en què s'ha d'emmagatzemar el projecte i accés a la creació del mosaic.



Resultat

Fixeu-vos que en utilitzar una versió d'avaluació i en haver treballat amb l'opció *Beginners*, la resolució de la imatge resultant és força baixa. Si s'hagués pogut ampliar la quantitat de cel·les amb la mateixa mida de document s'hauria obtingut una resolució final millor.

Figura 40. Imatge creada mitjançant el mosaic



Resultat ampliat

En aquesta imatge hi ha una regió ampliada de la imatge en la qual es poden observar algunes de les imatges d'origen utilitzades.

Figura 41. Imatge en la qual es recull un conjunt de les fotografies utilitzades en la creació del mosaic final.



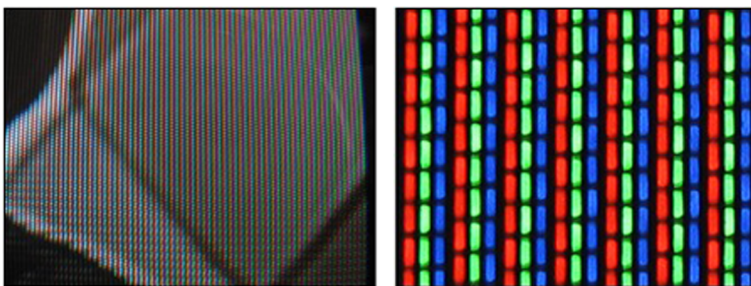
A quina distància cal posar-se per a no distingir les imatges de les cel·les que formen el mosaic? Quina mida han de tenir les imatges perquè tan sols es percebin com un element d'imatge⁸, és a dir, un píxel? Quina separació hi ha d'haver entre dos píxels perquè es percebin com un de sol?

⁽⁸⁾La paraula *píxel*, prové de l'anglicisme *picture element*, que significa 'element bàsic d'una imatge'.

Exercici 2

- 1) Apropieu molt una càmera fotogràfica a la pantalla d'un televisor encès i feu una fotografia amb la càmera digital d'un detall d'una imatge.
- 2) Obriu la fotografia amb Photoshop i amplieu-la fins que es puguin diferenciar clarament els píxels que formen la imatge en la pantalla.

Figura 42



A. Detall d'una imatge en una pantalla de televisió. B. Imatge en la qual es pot veure la distribució de píxels en una pantalla de televisió.

Fixeu-vos que en una pantalla de televisió la distribució dels píxels segueix una estructura regular, formada pels tres colors primaris de la llum, vermell, verd i blau.

Perquè un observador no percebi la separació entre dos píxels, aquests han de superar el límit de l'**agudesa visual**, de manera que la relació entre la distància que separa els píxels entre ells i la distància entre els píxels i l'observador faci que, en lloc de veure els dos píxels, tan sols en percebi un, que és la unió dels dos.

Llavors, quants píxels ha de tenir una pantalla de televisió perquè no es vegi la separació entre ells? I, a quina distància cal veure la pantalla? I, en el cas de les pantalles d'ordinador, si s'acostumen a veure a menys distància que una pantalla de televisió, ha de tenir més píxels? Quants?

A totes aquestes preguntes s'intentarà donar resposta en els punts següents.

Exercici 3

Com s'ha dit, conèixer la resolució i la mida d'una imatge és un dels conceptes principals que s'ha de tenir en compte quan es treballa en el món audiovisual i multimèdia, ja que és de vital importància saber adaptar el contingut amb què es treballa a les característiques del format de visualització final.

Seguiu els passos següents:

1) Pas 1

Amb el **Photoshop** obriu una imatge i aneu a la finestra de redimensionament (*Imagen \ Tamaño de imagen*).

2) Pas 2

Deshabiliteu la pestanya de **remostrejar la imatge**. Fixeu-vos que la secció de dimensions en píxels queda automàticament prefixada i no pot modificar-se.

3) Pas 3

Fixeu-vos en els paràmetres de resolució i la superfície que cobreix la imatge.

4) Pas 4

Modifiqueu els paràmetres de resolució i observeu com aquests repercuteixen directament en les dimensions de la superfície de la imatge. Fixeu-vos que la quantitat de píxels de la imatge continua essent la mateixa.

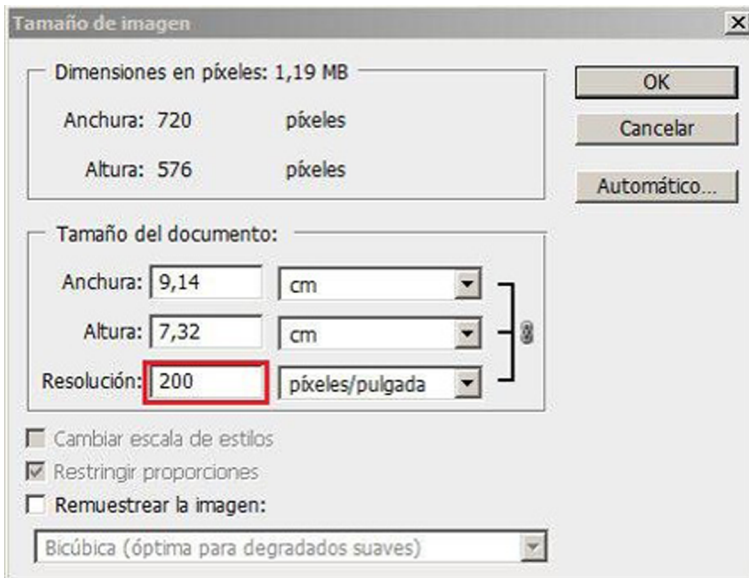
5) Pas 5

Modifiqueu els paràmetres d'amplada i altura de la imatge i observeu de quina manera s'actualitza el valor de la resolució.

6) Pas 6

Traieu conclusions de l'observat.

Figura 43. Captura de pantalla del Photoshop en la qual es pot observar que per a una resolució de 200 dpi, amb una imatge de 720 × 576, la pantalla resultant tindrà unes dimensions de 9,14 cm × 7,32 cm.



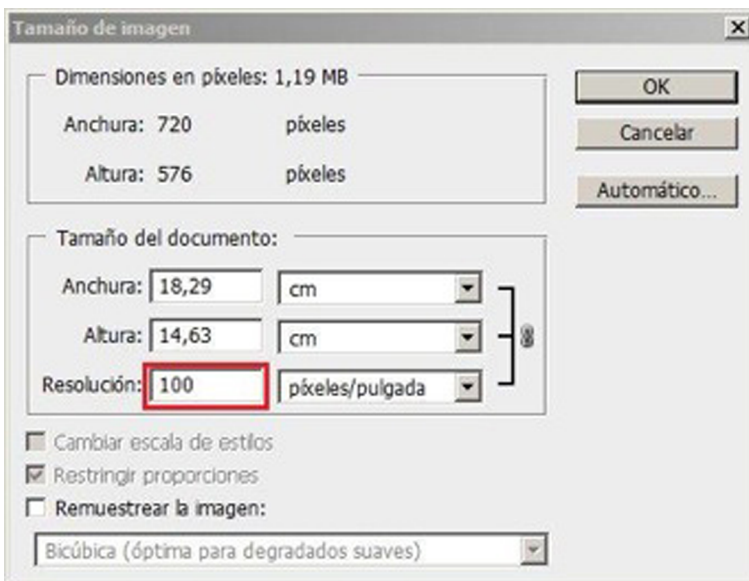
Justificació

Si s'omple una pantalla amb una imatge de 720 × 576 píxels i aquesta imatge té una resolució de 200 dpi⁹, la pantalla tindrà una amplada de 3,6 polzades i una altura de 2,88 polzades, en què cada una té una quantitat de 200 píxels horitzontals per 200 verticals. O el que és el mateix, $3,6 \times 2,54 = 9,14$ cm d'amplada i $2,88 \times 2,54 = 7,32$ cm d'altura.

Si ara es modifica la resolució de la imatge sense modificar-ne la quantitat de píxels, hi ha un canvi de mida dels píxels (ja que cada un ha de cobrir molta més superfície) i, en conseqüència, també de la imatge. En reduir la resolució a la meitat, el píxel quadruplica la seva mida, i la pantalla adquireix una amplada de 7,2 polzades i una altura de 5,76 polzades, on cada una té una quantitat de 100 píxels horitzontals per 100 verticals. O, el que és el mateix, $7,2 \times 2,54 = 18,28$ cm d'amplada per $5,76 \times 2,54 = 14,64$ cm d'altura.

⁽⁹⁾L'expressió *dpi* prové de l'anglès *dots per inch* o en la seva traducció al català *punts per polzada* o *ppp*. Recordeu que una polzada correspon a una longitud de 2,54 cm.

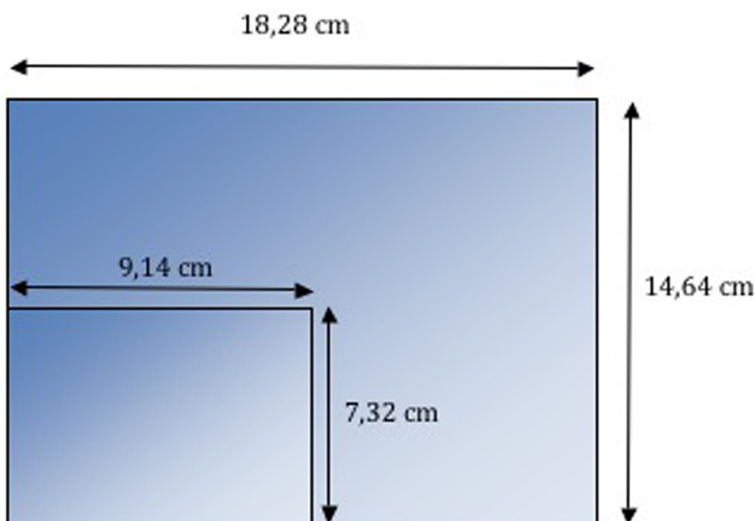
Figura 44. Captura de pantalla del Photoshop en la qual pot observar-se que per a una resolució de 100 dpi, amb una imatge de 720 × 576, la pantalla resultant tindrà unes dimensions de 18,29 cm × 14,63 cm.



Fixeu-vos que, en no remostrejar la imatge, la quantitat de píxels per imatge sempre s'ha mantingut constant. Això implica que en el moment de visualitzar les dues imatges en la pantalla de l'ordinador, encara que es modifiqui la resolució, aquestes mantenen la mateixa mida en la pantalla. És a dir, el canvi tan sols es pot percebre si les imatges s'imprimeixen en paper.

Com és lògic, si la imatge continua tenint la mateixa quantitat de píxels però en cada polzada tan sols es distribueixen 100 píxels, la mida de cada píxel queda modificada i, en conseqüència, la superfície del document es quadriplica respecte a l'exemple anterior (ja que la seva mida es duplica verticalment i horitzontalment).

Figura 45. Esquema en el qual es representa la relació entre les dimensions de les dues imatges amb diferents resolucions.



És interessant destacar que en els dos casos, com que la quantitat de píxels de la imatge és la mateixa, el pes de l'arxiu final (que en aquest cas és d'1,19 MB) no es modifica. És a dir, que en decidir la resolució d'una imatge és necessari saber la distància a la qual es veurà aquesta imatge i, llavors, a partir de la resolució es podran determinar les dimensions d'aquesta.

2.3.3. La mida del píxel en funció de la resolució de pantalla

Si en el Photoshop es visualitza la imatge al 100%, cada píxel de la imatge adquireix la mida que té cada píxel en la pantalla. És a dir que, en funció de la mida de la pantalla i de la resolució de la targeta gràfica, es veurà una imatge més gran o més petita. En modificar la mida de visualització, per exemple, ampliant-la, el que fa la targeta gràfica és duplicar el valor de cada un dels píxels sobre els píxels del seu costat, tantes vegades com sigui necessari, i possiblement la imatge queda pixel·lada. Aparentment, l'efecte aconseguit és el mateix que en modificar la resolució de la imatge, però en canvi la mida de l'arxiu lògicament continua essent la mateixa.

Figura 46. Captura de pantalla del Photoshop en la qual es pot veure una imatge sense cap ampliació, és a dir, al 100% de la mida de visualització.

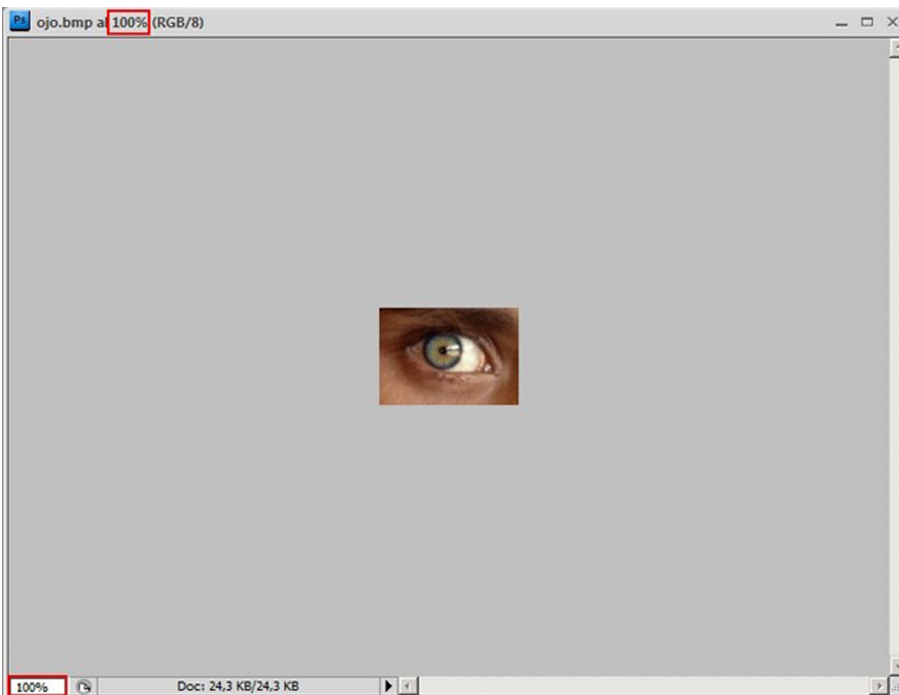
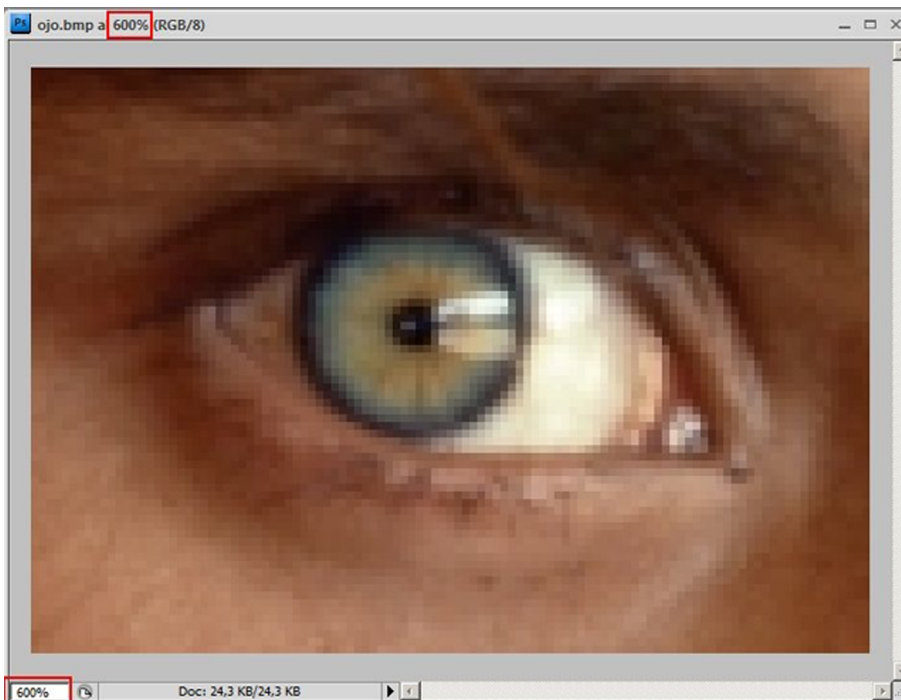


Figura 47. Captura de pantalla del Photoshop en la qual es pot veure una imatge ampliada al 600% de la mida de visualització.



A partir d'aquest exemple es pot concloure que és de vital importància, en treballar amb imatges, conèixer les dimensions i resolució del sistema sobre el qual es visualitzarà la imatge. Si no, podríem exigir a la pantalla que representés més píxels dels que és capaç de mostrar, amb la qual cosa es consumirien recursos i còmput innecessaris sense poder veure el detall aportat pels píxels que no es veuran, o, al contrari, que la imatge que es representés tingués menys resolució que la pantalla de visualització, la qual cosa limitaria l'experiència visual, i oferiria una visió pixel·lada de la imatge.

2.3.4. El remostreig d'una imatge

En l'exercici 3 d'aquesta activitat s'ha modificat la resolució d'una imatge sense modificar-ne la quantitat de píxels. Això ha fet modificar la quantitat de píxels per polzada del document, de manera que la imatge ha augmentat la seva superfície. I aquest canvi es faria evident si la imatge s'imprimís en un paper. De tota manera, si s'avalua la mida de la imatge en la pantalla d'ordinador, es pot veure que en tenir la mateixa quantitat de píxels la seva mida en pantalla no ha quedat modificada.

Un dels processos que es fan més sovint quan es treballa amb programes de retoc fotogràfic és l'escalat d'imatge. De manera que ens pot interessar modificar no tan sols la mida de la imatge, sinó que també ens pot interessar modificar-ne la quantitat de píxels.

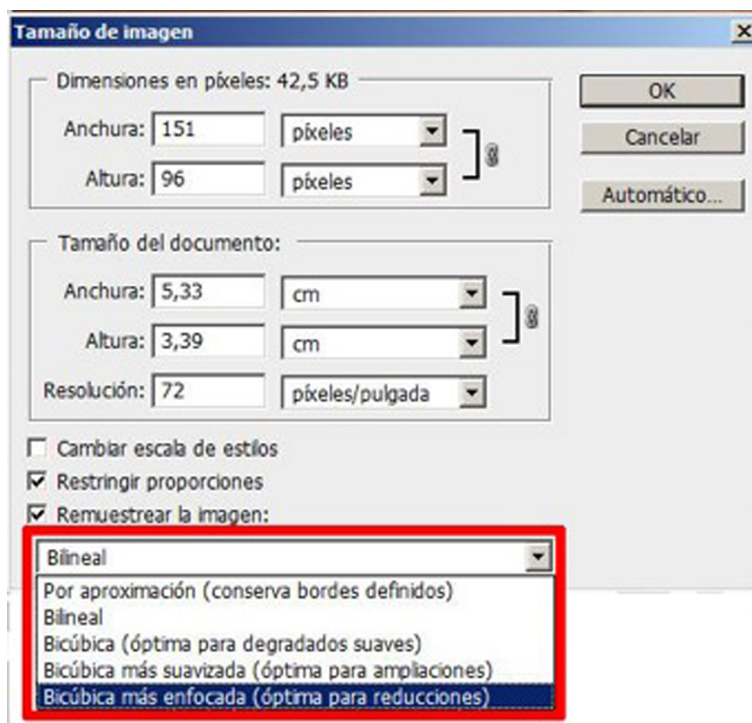
Per a modificar la quantitat de píxels d'una imatge és necessari dur a terme un **procés de remostreig**, de manera que o s'eliminin píxels de la imatge si el que es vol és reduir-la, o es generin nous píxels si el que es vol és augmentar la mida de la imatge. Hi ha diferents tècniques de remostreig d'una imatge per a minimitzar la sensació de pèrdua de qualitat.

El Photoshop utilitza el conjunt de tècniques de remostreig que apareixen en la figura 48. Cada una utilitza diferents tècniques d'interpolació per a deduir el valor dels nous píxels.

Exemple

Per exemple, el sistema de remostreig utilitzat més habitualment és l'aproximació **bicúbica** (**òptima per a degradats suaus**). En aquest cas el programa fa un estudi de la informació dels píxels i calcula matemàticament quin hauria de ser el valor que hauria d'adquirir el nou píxel. En aquest cas, encara que exigeix un cert processament, el resultat és sovint força bo.

Figura 48. Captura de pantalla del Photoshop, en la qual poden veure les diferents tècniques de remostreig que permet utilitzar el programa.



Exercici 4

1) Pas 1

Amb el Photoshop, obriu una imatge de mida reduïda (per exemple, uns 200 x 150 píxels amb una resolució d'uns 100 dpi).

2) Pas 2

Aneu a la finestra *Tamaño de imagen* i activeu el procés de **remostrejar la imatge** amb l'opció *Por aproximación* (conserva vores definides).

3) Pas 3

Ara modifiqueu el valor de la resolució passant dels 100 dpi als 800 dpi i apliqueu la transformació.

4) Pas 4

Observeu i traieu conclusions de com treballa aquest sistema.

Justificació

En aquest cas, el remostreig per aproximació tan sols còpia el valor de cada un dels píxels de la imatge original tantes vegades com sigui necessari per aconseguir la resolució d'imatge que l'usuari ha escollit. Això es tradueix visualment en un efecte de pixel·lat idèntic al que ja s'ha estudiat quan s'ha modificat la mida de visualització amb el Photoshop. Aquesta tècnica de remostreig és molt ràpida, ja que pràcticament no ha de processar informació.

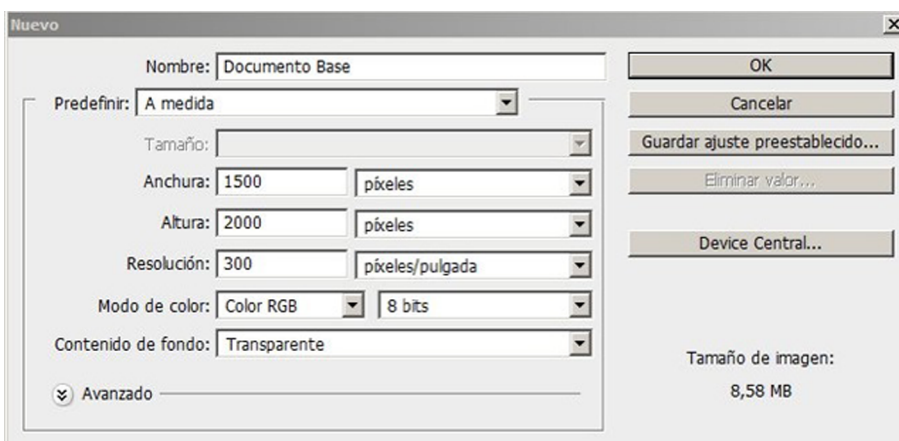
Exercici 5. Quina és la resolució òptima en cada cas?

L'objectiu de l'activitat és fer amb el Photoshop una tira de proves, a partir de la mateixa fotografia, sobreposant-la amb diferents resolucions una a sobre de l'altra i observar a partir de quina resolució la qualitat deixa de ser òptima.

1) Pas 1

Per a fer l'activitat s'ha de generar un document amb una resolució de 300 ppp i una mida d'uns 1.500 × 2.000 píxels.

Figura 49. Finestra de creació d'un document nou amb el Photoshop.



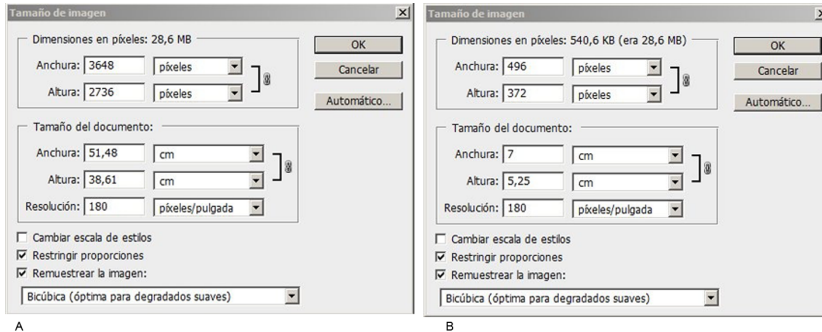
2) Pas 2

Obriu una imatge feta amb una càmera fotogràfica digital que tingui una mida superior als 3 megapíxels,¹⁰ és a dir, per exemple, uns 2.000 × 1.500 píxels; aneu a la finestra de redimensionament (*Imagen\Tamaño de imagen*) i redi-

⁽¹⁰⁾No confoneu 3 megapíxels amb 3 megabytes.

mentioneu la fotografia perquè tingui una mida inferior, per exemple, de 7 cm d'amplada per 5 cm d'altura. Fixeu-vos que, en modificar la mida sense modificar la resolució, canvia la quantitat de píxels que es requereixen.

Figura 50



A. Finestra de mida d'imatge corresponent a una imatge amb molts píxels amb una resolució de 180 dpi. B. Finestra de mida d'imatge corresponent a una imatge amb pocs píxels amb una resolució de 180 dpi.

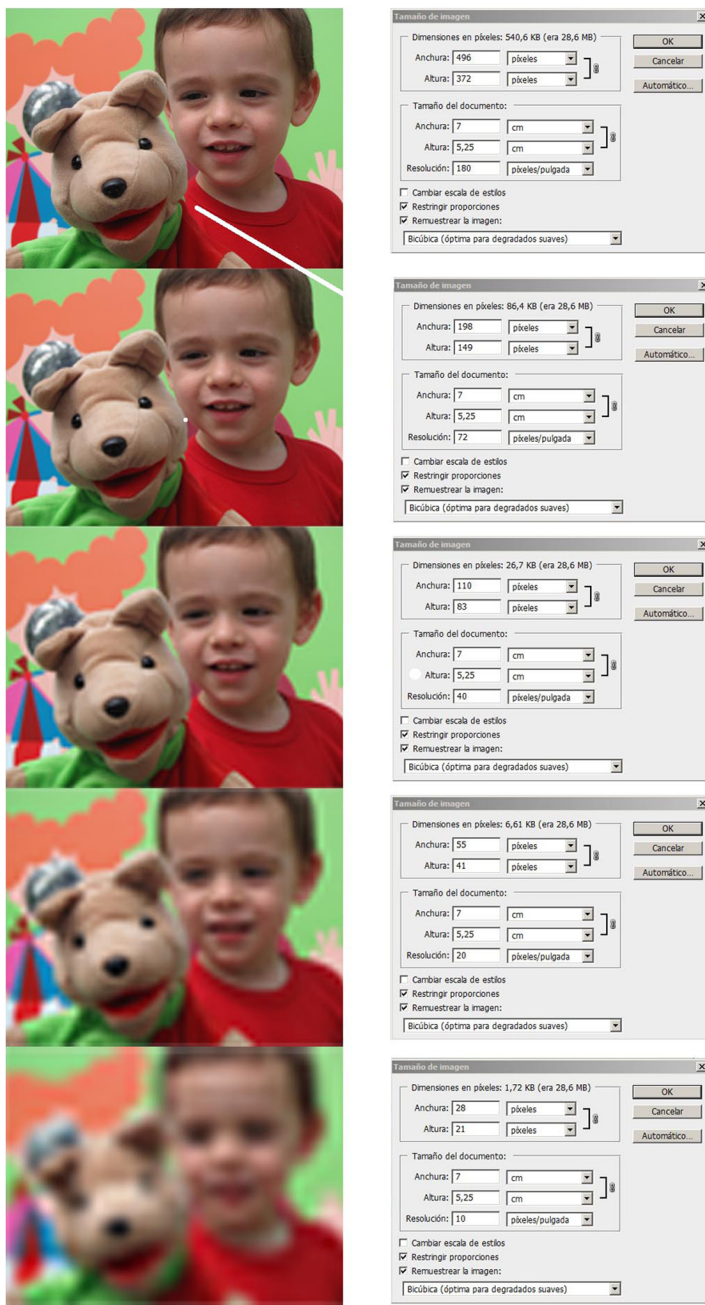
3) Pas 3

Una vegada modificada la mida de la imatge com en la figura 50, i a partir de la imatge de més petita, escolliu diferents resolucions, per exemple, a 180 dpi, 72 dpi, 40 dpi, 20 dpi i 10 dpi i arrossegueu les capes corresponents a cada una de les imatges sobre el document de 300 dpi. Fixeu-vos que, en arrossegar una imatge que té una resolució inferior als 300 dpi del document destí, modifica la seva mida, i com més baixa és la resolució més petites es tornen.

4) Pas 4

Col·loqueu cada imatge una a sobre de l'altra escalant-les perquè totes tinguin la mateixa mida. Imprimiu el document i observeu el resultat.

Figura 51. Tira d'imatges remostrejades a diferents resolucions i redimensionades de nou perquè totes tinguin les mateixes mides.



Justificació

D'aquesta activitat es pot deduir que, a l'hora d'imprimir una fotografia, és necessari que aquesta tingui una resolució que entre 150 ppp i 300 ppp¹¹. Ja que, en la distància en la qual es miren les fotografies impreses, l'ull humà té suficient resolució per a detectar petites imperfeccions amb ppp inferiors a 150.

⁽¹¹⁾Píxels per pulgada. Equival a l'anglès dpi (*dots per inch*).

Cada format de visualització requereix diferents valors de resolució; en conseqüència no s'ha d'assignar la mateixa resolució a una seqüència de vídeo si aquest ha de ser visualitzat en un telèfon mòbil o en una pantalla d'alta definició.

No té sentit muntar un vídeo amb la mateixa quantitat de píxels d'una càmera fotogràfica de 5 megapíxels, ja que la pantalla de televisió mai no pot lliurar tanta resolució d'imatge i a l'hora de treballar demanem al processador que reproduïxi aquests 5 megapíxels a una velocitat de 25 fotogrames per segon. Si es munta un vídeo amb aquestes condicions, el processador ha de computar una gran quantitat de dades innecessàries, ja que molta de la informació que es processa no pot ser apreciada.

Llavors, quina seria la resolució òptima per a muntar un vídeo per a veure'l en una pantalla de televisió de 4,3 i 14 polzades?

Una pantalla de 14 polzades té unes dimensions aproximades d'11,1 polzades d'amplada per 8,33 polzades d'altura. Això significa que el càlcul de línies necessàries perquè aquestes no arribin a percebre's com a tals, tenint en compte l'agudesesa visual i la distància de visionament (que és d'unes sis vegades la vertical de la pantalla, és a dir, 1,2 m de distància aproximadament), correspon a unes 600 línies de televisió. Aquestes condicions són suficients perquè l'espectador pugui veure una imatge sense artefactes.

Si l'altura de la pantalla té 8,33 polzades i en aquesta hi ha les 600 línies de televisió, significa que en cada polzada hi ha unes 72 línies de televisió i, per tant, si la pantalla és de 4,3, l'amplada tindrà $[\frac{600}{3} \times 4 = 800 \text{ píxels}]$; és a dir, horitzontalment en la pantalla hi haurà 800 píxels entre 11,1 polzades = 72 dpi.

Això demostra que si es vol muntar un vídeo amb una qualitat de 800×600 (SVGA) i una resolució de 72 dpi, amb una imatge de $800 \times 600 = 480.000$ píxels, és a dir, aproximadament 0,5 megapíxels de resolució és suficient, sempre que aquest s'hagi de veure en una pantalla de 14" (és a dir, de 35,56 cm de diagonal) a 1,2 m de distància.

Llavors, si augmenta la mida de la pantalla, ha d'augmentar la resolució de la imatge? Depèn de si mantenim la distància de visionament o, tal com s'ha comentat, es respecta la norma de veure la imatge a una distància de sis vegades la vertical de la pantalla, la qual cosa ens permet mantenir l'agudesesa visual dins de la seva regió d'interpolació.

2.3.5. La televisió d'alta definició

Què passa llavors amb la televisió d'alta definició? En realitat, a aquest tipus de televisió s'hauria d'anomenar *televisió de pantalla ampla*, ja que amb la televisió de definició estàndard l'ull ja treballa en el límit de saturació de l'agudesesa visual.

D'una enquesta feta recentment a Estocolm, es va treure la conclusió que l'espectador actual prefereix pantalles d'entre 30 i 40 polzades.

En un estudi fet per la BBC es va escollir una mostra de 170 persones a qui es va demanar que s'asseguessin al davant de pantalles d'aquestes dimensions; en aquest cas es va comprovar que la majoria se situaven entre 2,7 m i 3 m de distància del televisor, això equival a unes 3 vegades la vertical de la pantalla.

Figura 52. Exemple d'imatge en el qual l'àrea compresa entre el centre i l'extrem esquerre té un elevat nivell de detall, i l'àrea compresa entre el centre i l'extrem dret té poc detall



S'ha comprovat que, en aquesta distància de visionament, si es divideix la pantalla en dues meitats, en una meitat es col·loca una imatge d'alta resolució (4 K) i en l'altra meitat es va modificant la resolució, amb una resolució de 720×576 , la visió se satura (és a dir no es pot discernir entre una meitat i l'altra) amb pantalles d'entre 22" i 28"; amb pantalles d'entre 28" i 42" la visió no necessitava més de 1.280×720 píxels per a saturar-se, i que amb pantalles d'entre 42" i 60" l'ull no era capaç d'identificar la diferència entre imatges quan la meitat de poca resolució tènien més de 1.920×1.080 píxels.

A causa que en l'actualitat l'espectador demana pantalles grans sense voler allunyar-se d'aquesta, s'ha buscat un format d'imatge que contingui més quantitat de línies o píxels de resolució. Bàsicament hi ha dos formats que satisfan aquesta necessitat, el que consta de 1.280×720 píxels i el de 1.920×1.080 píxels. Aquests formats també els podem trobar classificats segons el tipus d'escaneig de la imatge que utilitzem, i trobem els que es basen en un escaneig entrellaçat (720i i 1080i) i els que utilitzen un escaneig progressiu (720p i 1080p).

Treballar amb un escaneig entrelaçat consisteix a projectar primer totes les línies senars de la imatge i posteriorment les línies parelles. I és una herència del passat a causa de la necessitat de la televisió analògica per a reduir el parpelleig de la imatge sense augmentar l'amplada de banda.

Els televisors de plasma i LCD actuals utilitzen l'escaneig progressiu, que es basa a mostrar totes les línies de la imatge consecutivament (sense distingir parells ni senars, sinó una darrere d'una altra).

La majoria de fabricants de televisors grans (amb més de 42") estan traient al mercat pantalles amb una resolució de 1.920×1.080 píxels i escaneig d'imatge progressiu, el que es coneix com a **Full HD**. D'altra banda, la tecnologia en el sector professional no evoluciona a la velocitat a què ho fa la de gran consum, i en l'actualitat no és fàcil adaptar tota una cadena de producció (com una televisió, o una empresa de serveis) a formats d'alta definició que treballin en Full HD, a causa dels elevats costos i l'amplada de banda que aquest format implica. Fins i tot el setembre del 2004 la UER (Unió Europea per a la Radiodifusió) va presentar un document en el qual recomanava als radiodifusors que fins que no es pogués emetre en Full HD, es triés com a format provisional el 720p. És a dir, la UER no recomana utilitzar com a format de difusió de continguts cap format entrelaçat. Després, a l'hora de la veritat cada difusor treballa amb el format que més li interessa (per exemple, Digital + HD emet en 1080i, en canvi Televisió de Catalunya –TVC– durant molt temps ho ha fet en 720p).

2.3.6. La relació d'aspecte de píxel

Què passa quan, en una pantalla de 1.920×1.080 es visualitza una imatge que és de 1.280×720 ? I quan en una pantalla de 16,9 es projecta una imatge de 720×576 ?

És molt habitual que la imatge d'origen tingui una mida i una resolució molt diferents del sistema de visualització i, en aquest cas, ja s'ha estudiat el resultat de la redimensió de la mida de la imatge i la seva resolució, però, **què passa quan les proporcions d'una imatge són diferents les del sistema de visualització?** Per exemple, **què passa quan es vol inserir una fotografia en un vídeo que s'està muntant en format panoràmic?**

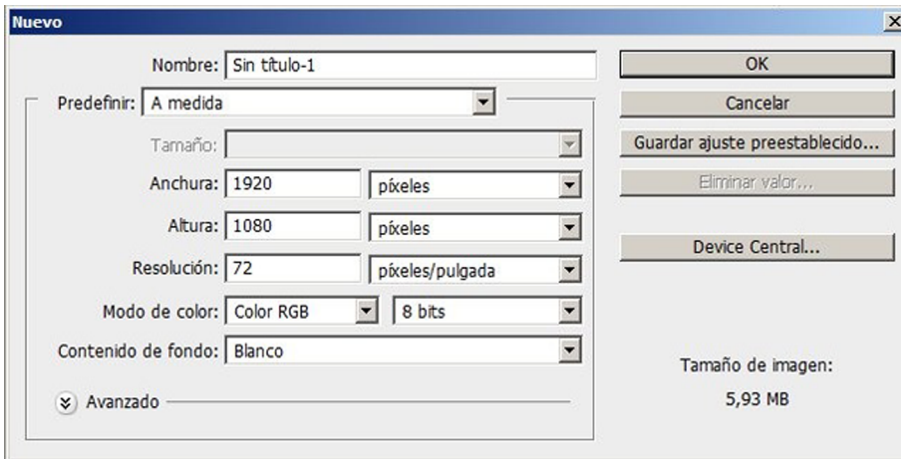
Exercici 6

Seguiu aquests passos:

1) Pas 1

Amb el Photoshop creeu un llenç de mida coneguda de 1.920 × 1.080 (fixeu-vos que en visualitzar-lo sobre una pantalla de 16:9 tindrà una relació d'aspecte de píxel quadrat, ja que $[\frac{1920}{16} \times 9 = 1080 \text{ píxels}]$).

Figura 53. Finestra de creació d'un document nou amb el Photoshop de 1.920 × 1.080 píxels, amb una resolució de 72 dpi



2) Pas 2

Obriu una fotografia de 1.440 × 1.080. Deduiu quina és la relació d'aspecte de la pantalla, si es continua utilitzant una relació d'aspecte de píxel quadrada.

3) Pas 3

Poseu la imatge de 1.440 × 1.080 sobre el llenç de 16:9. De manera que sense retallar cap part de la imatge, aquesta ompli tota la pantalla.

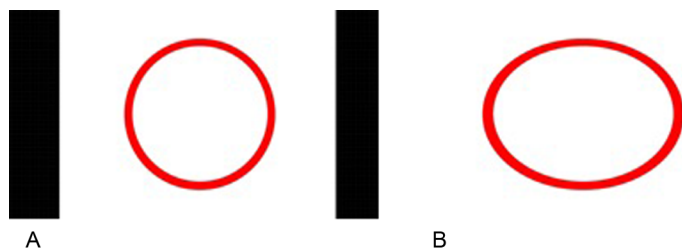
4) Pas 4

Traieu conclusions de l'observat.

Justificació:

La relació d'aspecte d'un píxel (igual com amb la relació d'aspecte d'una imatge) és la relació entre l'altura i l'amplada del píxel. Si es té una imatge de 768 × 576 píxels quadrats que es visualitza en una pantalla de 4:3, l'altura del píxel és igual a la seva amplada, ja que es compleix la relació $[\frac{768}{4} = \frac{576}{3}]$. Però quan es visualitza en un televisor que té una relació d'aspecte de 16:9, necessàriament si es vol omplir la superfície del televisor amb imatge, s'hauran de modificar les proporcions del píxel per a adaptar-les a les proporcions del televisor.

Figura 54



A. Imatge amb una relació d'aspecte de 4:3 sobre una pantalla de 16:9, sense modificar la seva geometria.
 B. Imatge amb una relació d'aspecte de 4:3 sobre una pantalla de 16:9, adaptant la seva amplada a l'amplada de la pantalla.

Fixeu-vos que en aquest cas la imatge pot adaptar-se a les característiques d'aspecte del llenç de dues maneres diferents. En el primer cas s'ha respectat la relació d'aspecte de la imatge original deixant part de la pantalla amb dues zones verticals negres, aquesta configuració rep el nom de *pilarbox*. En el segon cas s'ha modificat la relació d'aspecte de la imatge per a adaptar-la a la de la pantalla i lògicament aquesta ha quedat deformada, aquesta composició es denomina *format anamòrfic*. En aquest cas la imatge omple totalment la superfície del llenç, però les proporcions de la imatge original han quedat deformades, i lògicament s'ha modificat la relació d'aspecte de píxel.

La visió anamòrfica, és una realitat molt habitual en l'actualitat, ja que en una gran quantitat de llars hi ha televisors en format panoràmic (en els quals la relació entre l'amplada i l'altura de la pantalla és de 16:9), i en canvi la cadena de televisió treballa amb material amb una relació d'aspecte de 4:3. En conseqüència, les persones que volen visualitzar la imatge en tota la pantalla estan obligades a adaptar la imatge de televisió de 4:3 a 16:9 deformant-la i forçant així que la superfície dels píxels es modifiqui i es generin píxels rectangulars. Això serà així fins que les cadenes de televisió no substituïixin totes les màquines amb què treballen perquè suportin aquesta nova relació d'aspecte. Mentrestant, l'usuari que té un televisor panoràmic a casa pot gaudir l'aquest tipus de visió sense deformar la imatge, per exemple, amb les pel·lícules gravades en 16:9. Qualsevol altra relació d'aspecte que visioni, la veurà en *pilarbox*, anamòrfica o parcialment retallada, en els casos en els quals la mida de la imatge sigui més gran que la de la pantalla.

La relació d'aspecte de píxel en vídeo

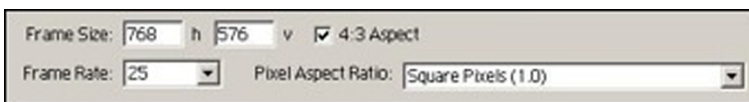
La imatge real es capta amb càmeres de vídeo que quan graven, per exemple, en un format DV generen arxius de 720 x 576 píxels i, com que ho fan sobre un sensor CCD que té una relació d'aspecte de 4:3, es podria considerar que el píxel del sensor és rectangular. Si aquest material es visualitza en un televisor "antic, dels que creen la imatge a partir del tub de rajos catòdics" que utilitza també una relació d'aspecte de píxel rectangular, la imatge es veu a tota pantalla sense cap tipus de distorsió. Però si aquesta es visualitza en una panta-

lla d'ordinador que utilitzi una relació d'aspecte de píxel quadrat (si la targeta gràfica no adapta automàticament la relació d'aspecte de píxel), la imatge quedarà lleugerament distorsionada.

Quan es treballa en vídeo és molt habitual barrejar imatge real amb imatge sintètica, i en aquests casos és important conèixer sempre la relació d'aspecte de píxel del material amb què es treballa. Ja que, si no, possiblement hi hagi problemes en voler integrar el material.

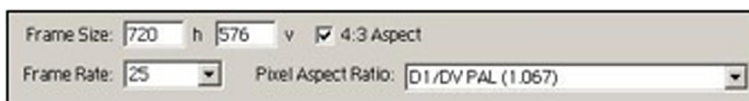
En la figura 55 es pot veure com quan en un programa d'edició de vídeo se'l configura perquè treballi partint d'una relació d'aspecte d'imatge de 4:3, amb una relació d'aspecte de píxel quadrat i amb una resolució vertical de pantalla de 576 per defecte selecciona una resolució horitzontal de 768 mostres. Aquesta configuració és amb la qual es treballarà habitualment quan es vulgui visualitzar el contingut audiovisual per mitjà d'un ordinador, ja que la relació d'aspecte del píxel en les pantalles d'ordinador sempre és quadrada.

Figura 55. Finestra de configuració d'una seqüència, del programa d'edició en vídeo Adobe Premiere Pro



Tot i així, la majoria de formats de vídeo professionals treballen amb una resolució de 720 píxels de resolució horitzontal per 576 píxels de resolució vertical, la qual cosa implica menys resolució horitzontal que vertical i la consegüent generació de *píxels rectangulars*. En l'exemple següent s'ha escollit una relació d'aspecte rectangular per al píxel, i això es tradueix en l'adaptació de la resolució horitzontal a 720 mostres.

Figura 56. Finestra de configuració d'una seqüència, del programa d'edició en vídeo Adobe Premiere Pro



Quan els píxels rectangulars amb relacions d'aspecte com 0,9 o 1,2 que no han estat modificats es visualitzen en el monitor de l'ordinador (el qual representa píxels quadrats), les imatges podrien aparèixer distorsionades. Aquesta distorsió no apareix quan les seqüències filmades es visualitzen en un monitor de vídeo en comptes de la pantalla de l'ordinador.

Figura 57



A. Exemple d'una imatge de 768×576 sobre una pantalla de 4:3, és a dir, amb píxel quadrat. B. Exemple d'una imatge de 720×576 sobre una pantalla de 4:3, és a dir, amb píxel rectangular. C. Exemple d'una imatge de 720×576 sobre una pantalla de 4:3 amb píxel quadrat. Fixeu-vos en les barres laterals negres.

Normalment, els ordinadors i les aplicacions informàtiques com Internet utilitzen una relació d'aspecte de píxel quadrat. I és també l'ordinador l'eina que permet modificar amb més facilitat aquesta relació d'aspecte si és necessari. De tota manera és important tenir en compte aquest paràmetre, ja que en aplicacions de vídeo professional és molt habitual treballar amb relacions d'aspecte de píxel rectangulars.

2.3.7. Formats digitals reduïts

En algunes aplicacions en les quals no resulta necessària una excessiva qualitat de la imatge de vídeo digital, és habitual l'ús de reduccions sobre la mida de la imatge, amb la qual cosa s'aconsegueix una important reducció respecte a la taxa de bits original, que pot fer factible la codificació del senyal en suports de baixa densitat o canals d'amplada de banda reduïda.

En l'actualitat, hi ha formats com el H.264 o alguns còdecs per a aplicacions de flaix que permeten, per exemple, la videoconferència, la videotelefonía, i també veure un esdeveniment en temps real per mitjà de l'*streaming*.

Totes aquestes aplicacions solen partir d'una reducció de la mida de les imatges i, a més, acostumen a aplicar codificadors que comprimeixen la informació de vídeo.

Entre tots els formats de submostreig actuals es podria destacar la popularitat del SIF (*source intermediate format*). Aquest és un format que aplica una reducció de mostres de luminància i de color tant en el sentit vertical com horitzontal partint de la norma 4:2:0. Per aquesta raó s'obté una imatge de 360×288 mostres de luminància per a l'estàndard de 625 línies i de 360×240 per a l'estàndard de 525 línies. Al seu torn, el color també és submostrejat, i queden matrius de 180×144 per a 625 línies i 180×120 per a sistemes de 525 línies. També es fa un procés de reducció de la freqüència d'imatge. Habitualment es treballa a 15 fps¹² i, en lloc d'utilitzar un escaneig entrellaçat, se n'utilitza un de progressiu. En aquestes condicions, s'obté una qualitat equivalent al format de vídeo analògic VHS.

⁽¹²⁾fps: fotogrames per segon.

Taula

Taula 1. Esquema resum de la relació entre la quantitat de mostres de llum i de color utilitzats en diferents normes de mostreig, en funció del format o subformat de vídeo amb què s'estigui treballant.

Formats de mostreig	Normes de mostreig							
	PAL i SECAM (625 línies)		NTSC (525 línies)		PAL i SECAM (píxel quadrat)		NTSC (píxel quadrat)	
	Llum	Color	Llum	Color	Llum	Color	Llum	Color
4:4:4	720 × 576	720 × 576	720 × 480	720 × 480	768 × 576	768 × 576	640 × 480	640 × 480
4:2:2	720 × 576	360 × 576	720 × 480	360 × 480	768 × 576	384 × 576	640 × 480	320 × 480
4:2:0	720 × 576	360 × 288	720 × 480	360 × 240	768 × 576	384 × 288	640 × 480	320 × 240
4:1:1	720 × 576	180 × 576	720 × 576	188 × 480	768 × 576	192 × 576	640 × 480	160 × 480
Subformats de mostreig	Llum	Color	Llum	Color	Llum	Color	Llum	Color
SIF	360 × 288	180 × 144	360 × 240	180 × 120	384 × 288	192 × 144	320 × 240	160 × 120
CIF	360 × 288	180 × 144	360 × 288	180 × 144	384 × 288	192 × 144	384 × 288	192 × 144
QSIF	180 × 144	90 × 72	180 × 120	90 × 60	192 × 144	96 × 72	160 × 120	90 × 60
QCIF	180 × 144	90 × 72	180 × 144	90 × 72	192 × 144	96 × 72	192 × 120	96 × 72

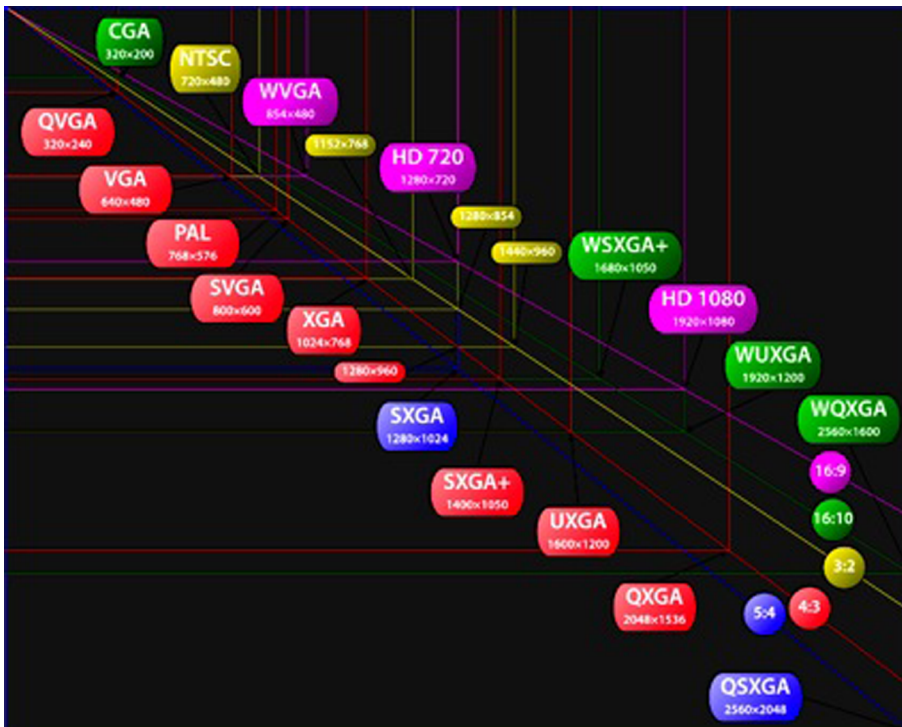
El format CIF (*common intermediate format*) és un compromís entre el format SIF per a 625 i 525 línies, que utilitza 360 × 288 mostres de resolució de lluminància (europeu) i una freqüència d'actualització de 30 Hz (americà).

Els formats QSIF i QCIF (*quarter*) s'obtenen reduint, de nou, la resolució espacial en un factor 4 (factor 2 en cada direcció) i la resolució temporal en un factor 2 o 4. Aquests formats solen utilitzar-se per a la transmissió de senyals de vídeo en telefonia amb l'estàndard de compressió H.264, o per a la transmissió de vídeo en directe per Internet. Els submostreigs espacials es fan filtrant els senyals SIF (o directament la 4:2:0). Les posicions espacials dels components de lluminància i de cromà resultants són semblants a les del format SIF.

És molt habitual sobretot en aplicacions informàtiques utilitzar l'expressió *resolució* per a indicar els diferents nivells o quantitats de píxels que un monitor d'ordinador, targeta gràfica o projector de vídeo poden suportar.

A continuació pot veure's una gràfica en la qual apareix el conjunt de diferents resolucions més utilitzades generalment, amb diferents relacions d'aspecte:

Figura 58. Resum de les resolucions més habituals, en funció de la relació d'aspecte de la imatge



Font: Viquipèdia

Els píxels són més petits com més alta és la resolució de pantalla. Normalment, els objectes de pantalla, com icones, barres de títols, sempre tenen la mateixa quantitat de píxels independentment de la resolució. Conseqüentment com més alta és la resolució de pantalla més petits apareixen els objectes, de la qual cosa es dedueix que per a treballar amb resolucions altes és important que la mida física del monitor sigui gran i cada píxel sigui també més gran. Actualment la possibilitat de treballar amb objectes escalables permet aplicar diferents resolucions d'imatge independentment de la mida física de la pantalla. Això defineix un marge resolucions raonables recomanables en funció de la mida de la pantalla. En la taula 2, es poden veure aquestes recomanacions quan es treballa amb pantalles de 4:3.

Taula

Taula 2. Esquema resum de la relació entre la quantitat de píxels en una pantalla i la mida d'aquesta, quan aquesta té una relació d'aspecte de 4:3.

	800x600	1024x768	1152x882	1280x1024	1600x1200	1800x1440
15'	X	X				
17'		X	X	X	X	
19'			X	X	X	
21'					X	X

2.4. Problemes

Pràctica 1

Repetiu la pràctica feta en l'exercici 3 però provant la resta de tècniques de remostreig, avalueu els resultats i intenteu pensar de quina manera calculen el remostreig cada una.

Pràctica 2

Amb algun programa d'edició en vídeo com l'Adobe Premiere o Final Cut, feu un muntatge en què, a partir d'una fotografia d'uns 2.000×1.500 píxels i una resolució de 72 dpi, es faci una ampliació fins a arribar a un detall de la imatge.

Pràctica 3

Repetiu la pràctica anterior amb una imatge amb la mateixa quantitat de píxels però amb una resolució de 300 dpi.

Pràctica 4

Captureu un document o pàgina web, col·loqueu-lo en el programa d'edició en vídeo i estudeu quina resolució és necessària perquè, en fer una ampliació del document en la pantalla, aquest tingui suficient resolució per a poder continuar llegint el text del document amb una nitidesa correcta.

Pràctica 5

Què passa si sobre una pantalla de 16:9 es visualitza una imatge en format 4:3 que originalment ha estat gravada en 16:9?

Pràctica 6

En la taula 2 d'aquesta activitat, es representa una relació entre les resolucions recomanades en funció de la mida de la pantalla d'un ordinador, quan aquesta té una relació d'aspecte de 4:3. Investigueu quines serien les resolucions recomanables amb pantalles d'ordinador de 16:9.

Observació

Si el document d'origen és un arxiu tipus PDF, en obrir-lo amb el Photoshop, pot escollir-se la resolució a què es vol que el Photoshop el converteixi en una imatge formada per píxels.

3. Activitat 3. Digitalització de la imatge: quantificació i profunditat de color

3.1. Introducció

3.1.1. Contingut

En aquesta activitat es relaciona el concepte de quantificació d'un convertidor amb la profunditat de píxel d'una imatge. De manera que es pot estudiar la quantitat de bits necessaris en cada cas.

Una vegada assimilat tot el procés vinculat a la digitalització d'un senyal, analitzat en les dues activitats, s'estarà en disposició d'entendre la funció que fa una targeta gràfica i una targeta de vídeo, per la qual cosa al final d'aquesta activitat es fa una breu descripció de cada una i se n'anomenen les característiques i aplicacions principals.

3.1.2. Metodologia

Per a aquesta activitat, abans de fer els exercicis proposats és recomanable llegir detingudament els conceptes teòrics. D'aquesta manera es podran comprendre millor els exercicis. Per a fer els exercicis es treballa principalment amb el **Photoshop**.

3.1.3. Recursos

Els recursos de què disposa l'estudiant són els mateixos apunts subministrats, el programa de tractament fotogràfic Photoshop, els exercicis plantejats i cerques proposades d'informació a Internet, a part de la bibliografia proposada.

3.2. Objectius

El propòsit d'aquesta activitat és que l'estudiant arribi a comprendre el procés de quantificació i codificació en un convertidor analogicodigital i de quina manera afecta aquest procés en la codificació d'una imatge. De manera que s'apregui a relacionar com afecta la imatge final el fet de treballar amb uns valors de codificació o amb uns altres.

Aquests objectius estan relacionats amb les competències de l'assignatura següents:

- 1) Capacitat de capturar àudio i imatges de manera eficient i eficaç.
- 2) Capacitat de digitalitzar eficientment i eficaçment continguts d'àudio i imatge.
- 3) Capacitat d'operar de manera digital amb senyals digitals d'àudio i imatge.

I amb les competències del grau següents:

- 1) Ser capaç d'analitzar un problema en el nivell d'abstracció adequat a cada situació i aplicar les habilitats i coneixements adquirits per a abordar-lo i resoldre'l
- 2) Capturar, emmagatzemar i modificar informació d'àudio, imatge i vídeo digitals aplicant principis i mètodes de realització i composició del llenguatge audiovisual
- 3) Integrar i gestionar continguts digitals en aplicacions multimodals d'acord amb criteris estètics, tècnics i funcionals
- 4) Atendre adequadament consultes sobre projectes, tecnologies i mercat de productes multimèdia avaluant de manera precisa l'entorn d'aplicació, els recursos i les alternatives tecnològiques disponibles

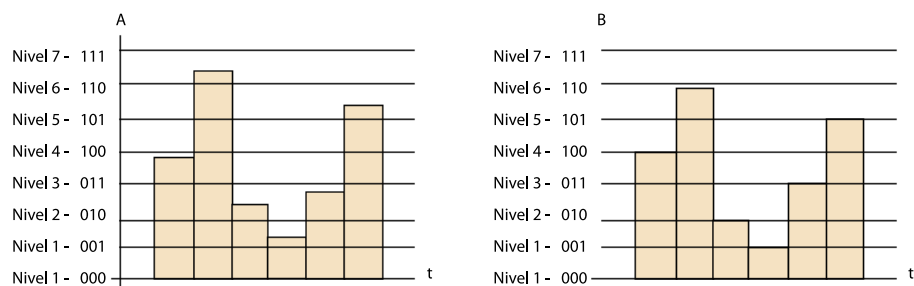
3.3. Guia

3.3.1. Quantificació dels píxels de la imatge

Una de les operacions que s'acostumen a fer constantment en l'àmbit audiovisual és, justament, la modificació de les propietats d'una imatge, de manera que les seves característiques de mida, resolució, relació d'aspecte de píxel, profunditat de color, etc. són adaptades als requeriments de cada situació. Podrem veure que, en modificar aquests paràmetres, en realitat estem operant sobre els mateixos processos que intervenen en un convertidor analógico-digital.

De forma similar a la quantificació de l'àudio del mòdul 1, una vegada s'han obtingut una sèrie de mostres del circuit de mostreig, es procedirà a assignar a cada una de les mostres el nivell d'amplitud més proper d'una sèrie de nivells predefinits. És a dir, que el procés de quantificació consisteix a donar a cada mostra un nou valor d'amplitud, i aquest ha de correspondre al nivell predefinit de quantificació més proper a la mostra.

Figura 59



A. En aquest gràfic es pot veure la relació entre cada una de les mostres i la seva amplitud real. B. En aquest gràfic es pot veure el canvi d'amplitud aplicat sobre cada una de les mostres en el procés de quantificació.

Observant les gràfiques de la figura 59 es pot veure com s'han determinat els diferents **nivells d'amplitud**, mitjançant combinacions de 0 i 1 formant diferents **codis binaris**. Així, quan es digitalitza un senyal, bàsicament el que s'està fent és codificar els valors d'amplitud de les mostres que s'han pres del senyal analògic original mitjançant codis binaris.

Si es tenen n xifres binàries es poden obtenir 2^n combinacions diferents. De manera que cada una d'aquestes combinacions es pot assignar a un nivell de quantificació diferent. Per aquesta raó la quantitat de possibles nivells de quantificació ha de ser igual a les 2^n combinacions.

A continuació es pot observar la relació entre la numeració decimal i els seus equivalents en alguns dels codis binaris més utilitzats.

Taula 3. Correspondència entre la numeració decimal i diferents codis binaris

Decimal	Binari natural	Codi Gray	Codi Johnson
0	0000	0000	00000000
1	0001	0001	00000001
2	0010	0011	00000011
3	0011	0010	00000111
4	0100	0110	00001111
5	0101	0111	00011111
6	0110	0101	00111111
7	0111	0100	01111111
8	1000	1100	11111111
9	1001	1101	11111110
10	1010	1111	11111100
11	1011	1110	11111000
12	1100	1010	11110000
13	1101	1011	11100000

Decimal	Binari natural	Codi Gray	Codi Johnson
14	1110	1001	11000000
15	1111	1000	10000000

La taula serveix d'exemple per a poder entendre com treballaria un convertidor A/D que codifiqués 4 bits. A cada nivell de quantificació se li assignaria un únic codi, és a dir, en aquest cas estariem tractant amb un convertidor capaç de crear $2^4 = 16$ diferents nivells de quantificació (fixeu-vos que el nivell 0 també és vàlid).

Seguint la norma anteriorment exposada si 2^n representa la quantitat de possibles combinacions binàries, es pot concloure el següent:

- Un codificador que treballi a 2 bits obtindrà $2^2 = 4$ diferents nivells de quantificació.
- Un codificador que treballi a 3 bits obtindrà $2^3 = 8$ diferents nivells de quantificació.
- Un codificador que treballi a 8 bits¹³ obtindrà $2^8 = 256$ diferents nivells de quantificació.
- Un codificador que treballi a 16 bits¹⁴ obtindrà $2^{16} = 65.536$ diferents nivells de quantificació.

⁽¹³⁾Habitualment el vídeo es processa a 8 bits amb la qual cosa una imatge en blanc i negre té 256 diferents nivells de llum, que van des del negre pur, fins al blanc passant per tota la gamma de grisos intermedis.

⁽¹⁴⁾És molt habitual que els sistemes de codificació de so treballin a 16 bits. Això es tradueix en el fet que, entre el so de menys volum fins al que té més volum, el codificador és capaç de processar 65.536 diferents nivells de volum. S'utilitzen tants nivells perquè el sistema auditiu humà té una gran capacitat discriminació de diferents volums.

Observació

Fixeu-vos que el fet de només augmentar en un sol bit la codificació es tradueix en la duplicació de la quantitat de nivells de quantificació. Això implica que en augmentar un bit la codificació, la distància entre nivell i nivell de quantificació es redueix a la meitat. És a dir, que en fer el procés de quantificació el canvi que s'haurà d'aplicar a cada una de les mostres també serà de la meitat.

Si es mira el procés de quantificació, s'observarà que en adaptar l'amplitud de la mostra al nivell de quantificació més pròxim s'estarà modificant l'amplitud de la mostra original, i es provocarà un error que es traduirà en **soroll de quantificació**¹⁵. Aquest soroll mai no superarà la meitat de l'amplitud d'un interval de quantificació Δ . És a dir, el soroll de quantificació mai no serà més gran que $\Delta/2$.

⁽¹⁵⁾Es considera soroll el senyal no desitjat, que es troba a la sortida del convertidor i que no hi havia a l'entrada.

Com ja s'ha vist, com més bits de quantificació s'utilitzin, menys distància hi haurà entre nivells de quantificació i consegüentment l'error de quantificació que es produirà serà més petit, la qual cosa millora la relació entre el senyal útil i el soroll que es genera al convertidor.

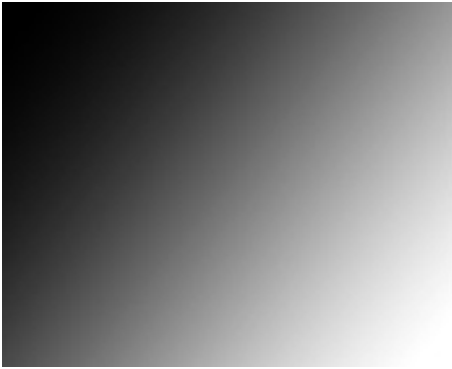
Exercici 1

Seguiu aquests passos:

1) Pas 1

Amb el Photoshop, creeu un document nou i genereu un degradat de grisos com el de la figura.

Figura 61



1) Pas 1

Deseu la imatge en format BMP, i escolliu en **modos avançats** la codificació **X4R4G4B4**. Fixeu-vos que en aquest cas cada color es troba codificat a 4 bits.

2) Pas 2

Deseu de nou la imatge en BMP, i escolliu la codificació a **24 bits**. En aquest cas s'està codificant cada canal a 8 bits.

3) Pas 3

Obriu les imatges que s'acaben de desar.

4) Pas 4

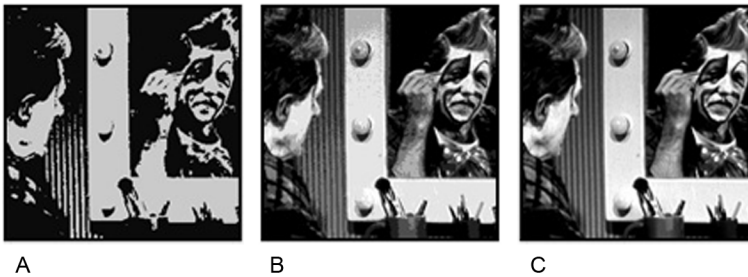
Observeu i traieu conclusions. A part de la diferència entre imatges observeu la diferència de mida dels arxius de cada una. Utilitzeu l'eina **comptagotes** per a poder veure la informació associada a diferents regions de cada una de les imatges.

Justificació

Habitualment la majoria de dispositius encarregats de processar el senyal de vídeo codifiquen el senyal a 8 bits, llevat de certes aplicacions d'alta qualitat o imatge sintètica que treballen entorn dels 10 o 12 bits, com, per exemple, en projectes d'animació per ordinador. Així es pot trobar que la majoria de formats d'enregistrament i reproducció en vídeo digital treballen a 8 bits, com poden ser el Betacam IMX, el DVCPPro50, DVCPPro 25, DVCam, MiniDV..., i en la mateixa línia els sistemes de postproducció en vídeo més comuns també utilitzen com a codificació estàndard els 8 bits.

La raó que s'hagi optat pels 8 bits com valor a estàndard en la codificació en vídeo, és que amb 8 bits s'aconsegueixen 256 nivells de quantificació, la qual cosa fa que en digitalitzar un senyal de vídeo en blanc i negre s'obtinguin 256 diferents nivells de gris, suficient en la majoria dels casos a causa del reduït marge dinàmic de la visió humana.

Figura 62



A. Imatge codificada a 1 bit. B. Imatge codificada a 3 bits. C. Imatge codificada a 8 bits

Observació

Fixeu-vos com en l'exemple anterior la imatge codificada a 1 bit tan sols té dos possibles estats de lluminositat vàlids (blanc i negre). En canvi, la imatge codificada a 3 bits ja té $2^3 = 8$ grisos diferents, i la imatge codificada a 8 bits té $2^8 = 256$ nivells diferents de gris.

3.3.2. Codificació d'imatges en color

Hi ha múltiples maneres de representar el mateix color. Per exemple, en el camp audiovisual és molt habitual treballar en RGB o en HSB. Això significa que el mateix color pot aconseguir-se mitjançant les dues tècniques.

- En treballar en **mode RGB**, simplement se suma la brillantor de cada un dels components vermell, verd i blau en les propietats adequades per aconseguir el color desitjat. La creació del color mitjançant els components RGB també es coneix com la *barreja de colors additiva*, ja que en anar augmentant la brillantor de cada un dels components de color augmenta la brillantor de la barreja fins a arribar al blanc.
- En treballar en **mode HSB**, el que es fa és mitjançant el paràmetre H, que prové de l'expressió *HUE*, escollir la tonalitat de color desitjada (vermell, cian, magenta, blau, etc.). Mitjançant el paràmetre B, que prové de

L'expressió *brightness*, s'escull la brillantor de la imatge, és a dir, la quantitat de llum que es vol que tingui el color. I mitjançant el paràmetre *S*, que prové de l'expressió *saturation*, s'escull el grau de contaminació de blanc que té el color. De manera que un color vermell amb un nivell de saturació del 50% correspon al color rosa.

Exercici 2

Seguiu aquests passos:

1) Pas 1

Obriu el programa el **Photoshop** i cliqueu sobre el selector de color de la finestra d'eines per obrir la **finestra de selecció de color**.

Figura 63

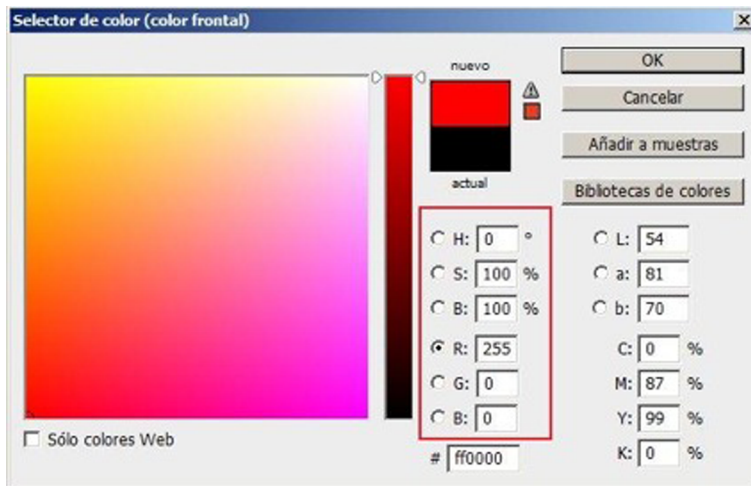


Regió de la finestra d'eines en la qual es pot activar la finestra de selecció de color.

2) Pas 2

Una vegada oberta de finestra de selecció de color, introduïu els mateixos valors de la figura 64.

Figura 64. Finestra de selecció de color en Photoshop

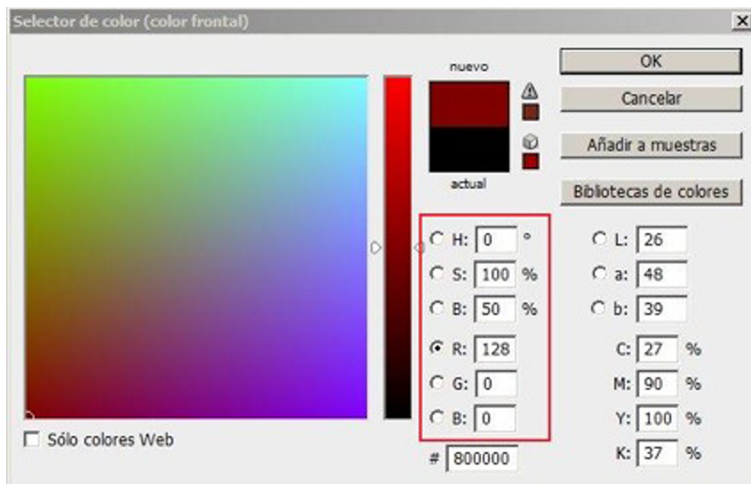
**Observació**

En el quadre emmarcat en vermell, es pot veure que en aquest cas el paràmetre S es troba al 100% i que el paràmetre B també es troba al 100%. I això equival a dir que R, és a dir, el color vermell, és del 100%. És a dir, que codificant el color a 8 bits, es troba en el nivell màxim.

3) Pas 3

Modifiquem el paràmetre B de brillantor i poseu-lo al 50%.

Figura 65. Finestra de selecció de color en el Photoshop

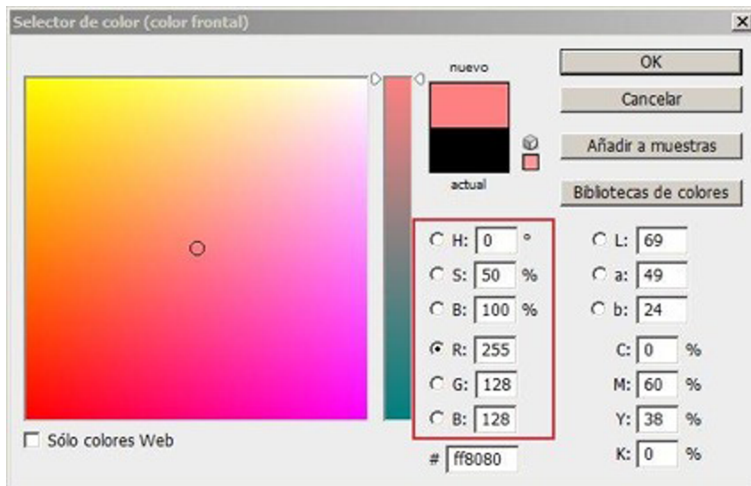
**Observació**

Observeu com en la figura 65 el color vermell ha perdut brillantor i que l'únic paràmetre afectat ha estat R, que s'ha reduït a la meitat fins al valor 128. Això mostra que els diferents valors que adquireixen els components de color RGB corresponen a diferents nivells de brillantor.

4) Pas 4

Modifiquem el nivell de saturació deixant-lo al 50% i torneu a situar el nivell de brillantor al 100%.

Figura 66. Finestra de selecció de color en el Photoshop



Observació

Fixeu-vos que, en aquest cas, el color creat és el color rosa i que per a això es requereix que els components verd i blau aportin el 50% de la pròpia brillantor cada un.

El nombre de bits o nivells de quantificació utilitzats en cada component no està estandarditzat. En sistemes de televisió, cada component se sol codificar amb 8 bits, encara que en l'actualitat estan apareixent alguns formats professionals que treballen amb resolucions de 10 bits fins a 12 bits per component. La quantitat de bits assignada als components de color és habitualment coneguda amb el nom de *profunditat de color*.

En sistemes multimèdia i informàtics s'utilitzen diverses representacions alternatives que depenen de les característiques de les targetes de digitalització de vídeo. La representació més habitual és la representació de color a 24 bits corresponent a la codificació de cada un dels components a 8 bits ($8 \times 3 = 24$). En aquest cas, el nombre total de colors que podem representar es pot calcular comptant totes les possibles combinacions de colors que podem obtenir en combinar les tres paraules de 8 bits ($2^{8 \times 3} = 16.777.216$ colors). Sovint aquest nivell de profunditat de color rep el nom *millions*.

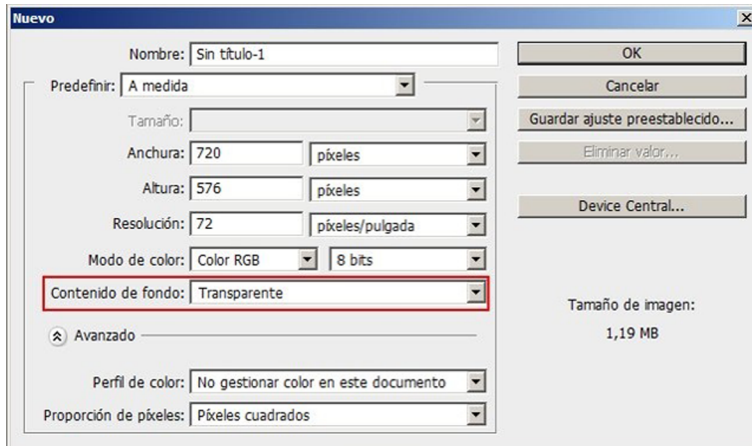
Exercici 3

Seguir aquests passos:

1) Pas 1

Amb el **Photoshop**, creeu un document nou en el qual en la pestanya de **contingut de fons** s'esculli l'opció de **transparent**.

Figura 67. Finestra de creació d'un document nou en Photoshop



2) Pas 2

Sobre el document creat, dibuixeu algun element o escriviu algun text.

3) Pas 3

Seleccioneu l'element creat clicant sobre la icona de la capa i mantenint la tecla **Control** pressionada.

4) Pas 4

Sense desseleccionar l'element, creeu una nova capa en la finestra de canals.

5) Pas 5

Deseu el document en format TGA, i quan ho demani escolliu l'opció 24 bits.

6) Pas 6

Torneu a desar el document en format TGA, i quan ho demani escolliu l'opció 32 bits.

7) Pas 7

Tanqueu el document i obriu de nou les dues imatges, la de 24 bits i la de 32 bits.

8) Pas 8

Si és possible, obriu les dues imatges en algun editor de vídeo i col·loqueu-ne alguna darrere de cada una per poder veure millor el resultat.

9) Pas 9

Observeu i traiu conclusions.

Figura 68. Generació i selecció d'un text

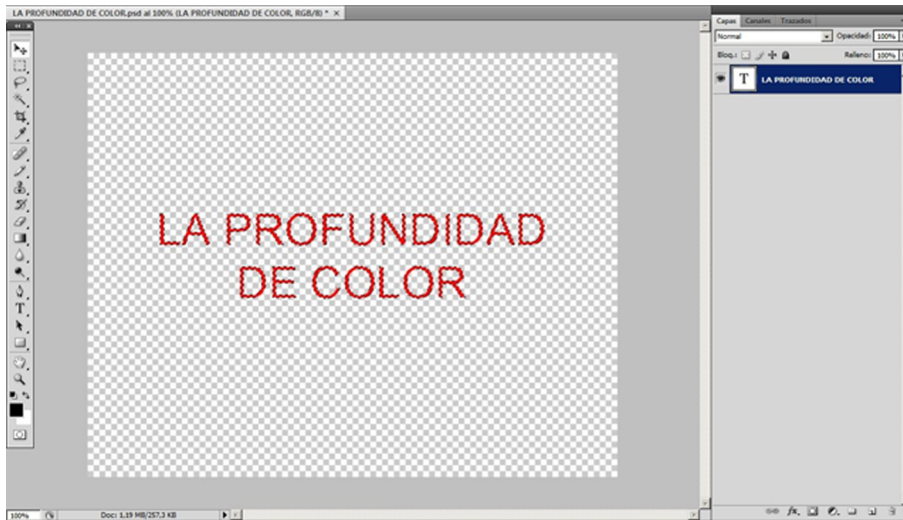
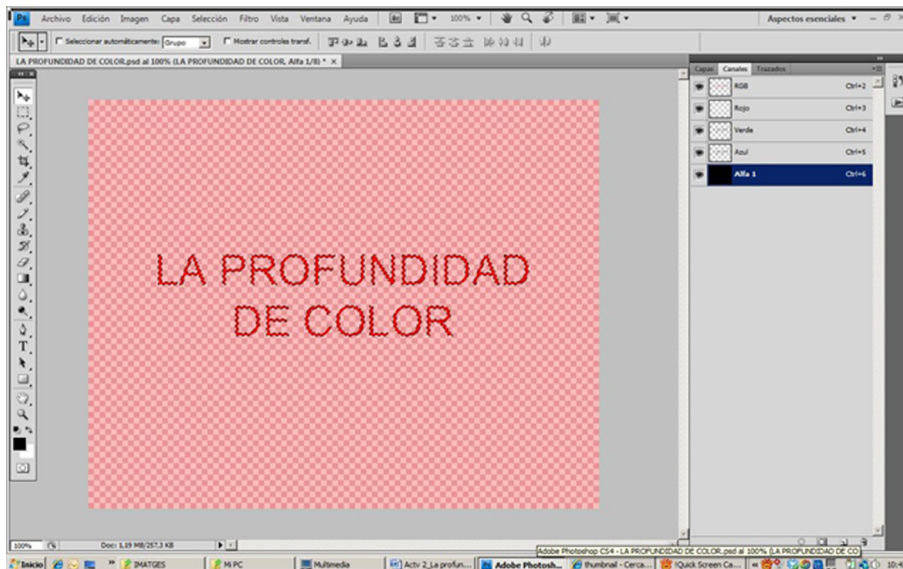


Figura 69. Creació d'un canal alfa a partir de la selecció de text que s'ha fet.

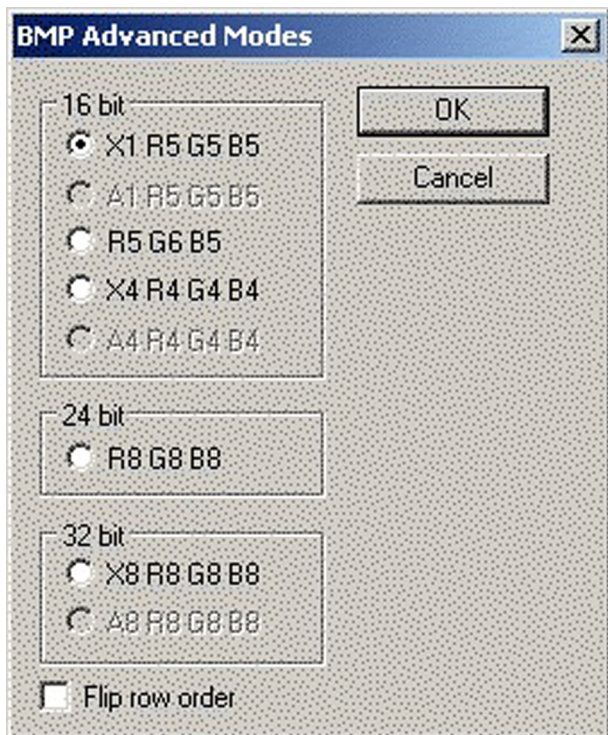


Justificació

La configuració de color en 32 bits, que admeten una gran quantitat de targetes gràfiques actuals, és, en essència, la mateixa que la de 24 bits. En aquest tipus, cada un dels components RGB es codifica amb 8 bits, la qual cosa proporciona un component addicional de 8 bits ($24 + 8 = 32$) per codificar la transparència de la imatge. Aquest component pren, per norma general, el valor nul que indica que la imatge és totalment opaca. Valors diferents de zero indiquen com cal combinar la imatge amb el fons per a obtenir el nivell de transparència desitjat. Així, un codi igual a 128 indicarà que cada element d'imatge es representa com a mitjana del color de la imatge i el color de fons; un nivell 255 indicaria que en la representació gràfica només apareix el fons. Aquest nivell de profunditat de color de vegades s'anomena *millions+*.

Altres formats d'imatge com, per exemple, el BMP o Bit MaP, permeten diferents nivells de distribució dels bits sobre cada component de color. Per exemple, la configuració de color de 16 bits redueix el nombre de bits amb què es codifica cada component, i dedica 6 bits per al component verd (al qual el sistema visual presenta més sensibilitat) i 5 bits als vermell i blau. El nombre de possibles colors representats es redueix a ($64 \times 32 \times 32 = 65.536$), un nombre de colors que acostuma a proporcionar representacions de les imatges en color força acceptables.

Figura 70. Diferents opcions de codificació del color que ofereix el format BMP.



Observació

Fixeu-vos, en la figura 70, com la modalitat de codificació a 16 bits admet diferents configuracions, en les quals es tenen en compte des de canals transparents *alpha channels* (representats mitjançant una K) fins a diferents nivells de profunditat de bit per a cada canal R, G i B.

3.3.3. La codificació de color a 16 bits per canal

Està comprovat que com a norma general l'ésser humà no és capaç de discernir més de 256 colors diferents de cada canal, és a dir, que els més de 16 milions de colors que s'aconsegueixen en treballar amb 24 bits són més que suficients. Llargors, **per quina raó hi ha la possibilitat en algunes aplicacions de treballar a 16 o més bits per canal?**

Com s'ha vist, en treballar amb 8 bits s'aconsegueix una gamma de 256 nivells amb els quals no es percep la diferència entre ells. Però en processar i, per tant, en fer càlculs amb una imatge, sovint els 8 bits no són suficients. La raó és que, en retocar una imatge, no s'estan fent una sèrie de càlculs matemàtics sobre uns valors discrets a partir de processos digitals.

Per exemple, si se suposa que hi ha una sèrie de nombres (3, 4, 5, 8 i 10) que corresponen als diferents valors que tenen unes mostres en un convertidor i es volen manipular aquestes mostres per a aconseguir un efecte determinat, per exemple, fent una multiplicació per $8/3$, el resultat seria el següent:

Taula 4

Mostres originals	Transformació	Arrodoniment
3	$3 \cdot \frac{8}{3} = 8$	8
4	$4 \cdot \frac{8}{3} = 10,66$	11
5	$5 \cdot \frac{8}{3} = 13,33$	13
8	$8 \cdot \frac{8}{3} = 21,33$	21
10	$10 \cdot \frac{8}{3} = 26,66$	27

En aquesta taula es pot veure el resultat d'haver aplicat una transformació i un arrodoniment al valor d'unes mostres originals.

Si una vegada aplicada la transformació es vol recuperar la imatge original, s'haurà de seguir el procés invers en fer la transformació. En aquest cas, per seguir el procés de transformació inversa es farà en dues etapes. Una possible transformació inversa a la proposada en la taula 4 que consisteix a multiplicar cada valor de les mostres per $1/4$ i, posteriorment, aplicar la segona transformació, que consistirà a multiplicar cada mostra per $3/2$. Aquest procés des del punt de vista aritmètic és exactament invers al procés que s'ha seguit en la primera transformació de la taula 4. Però, com s'ha dit, el convertidor treballa amb una quantitat de nivells limitada, i això implica que ha d'exercir un cert arrodoniment del valor de les mostres, per a donar-li el valor del nivell de quantificació més proper, després de cada operació.

Taula 5

Mostres originals	Transformació inversa 1	Arrodoniment	Transformació inversa 2	Arrodoniment i mostres finals	Variació entre mostres originals i mostres finals
8	$8 \cdot \frac{1}{4} = 0,75$	1	$1 \cdot \frac{3}{2} = 1,5$	2	1
11	$11 \cdot \frac{1}{4} = 2,75$	3	$3 \cdot \frac{3}{2} = 4,5$	5	-1
13	$13 \cdot \frac{1}{4} = 3,25$	3	$3 \cdot \frac{3}{2} = 4,5$	5	0
21	$21 \cdot \frac{1}{4} = 5,25$	5	$5 \cdot \frac{3}{2} = 7,5$	8	0
27	$27 \cdot \frac{1}{4} = 6,75$	7	$7 \cdot \frac{3}{2} = 10,5$	11	-1

En aquesta taula es pot veure el resultat d'haver aplicat dos processos de transformació inversa a partir de les mostres obtingudes en la primera transformació.

Observació

Fixeu-vos en el grau de variació entre les mostres abans i després d'haver fet les transformacions. Lògicament, en haver hagut de ser arrodonit sense cap decimal de marge, l'error entre les mostres és molt evident. Per aquesta raó es recomana que en les aplicacions en les quals es requereixi un elevat nivell de processat, es treballi amb la quantitat de bits més gran possible, ja que així augmenta la quantitat de nivells de quantificació i, per tant, es redueix el marge d'arrodoniment.

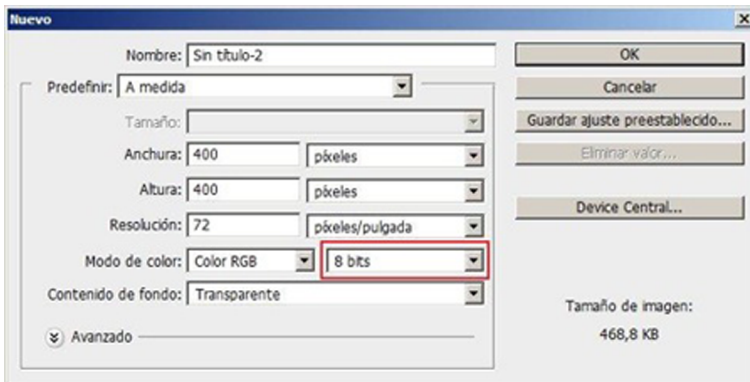
Exercici 4

Seguiu aquests passos:

1) Pas 1

Obriu el **Photoshop** i genereu un arxiu de 8 bits.

Figura 71. Finestra de creació d'arxiu nou a 8 bits



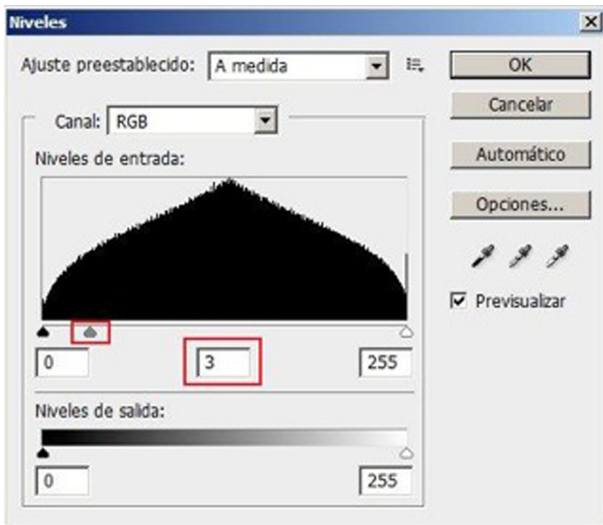
2) Pas 2

Creeu un degradat de blanc al negre com el de l'exercici 1.

3) Pas 3

Aneu a la pestanya **Imagen**\Ajustes\Niveles i modifiqueu el cursor central per situar-lo prop d'un de l'extrem esquerre, que correspon als nivells propers al negre. I accepteu el canvi.

Figura 72. Histograma d'un degradat de grisos, havent desplaçat el cursor central de selecció

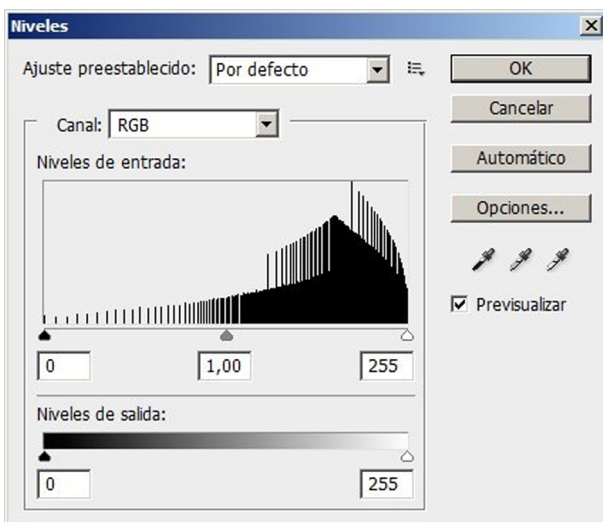


Aparentment, la imatge ha modificat la gamma de grisos però no sembla que hagi perdut qualitat. En fer aquest procés, s'ha modificat la gamma de grisos, de manera que s'ha augmentat la gamma de grisos compresa entre el gris mitjà i el blanc, però el més important és que la gamma de grisos que va del gris mitjà al negre s'ha reduït en gran manera.

4) Pas 4

Torneu a obrir la pestanya *Imagen\Ajustes\Niveles* i observeu la gràfica resultant.

Figura 73. Histograma resultant d'una imatge de 8 bits a la qual s'ha aplicat un procés de requantificació.

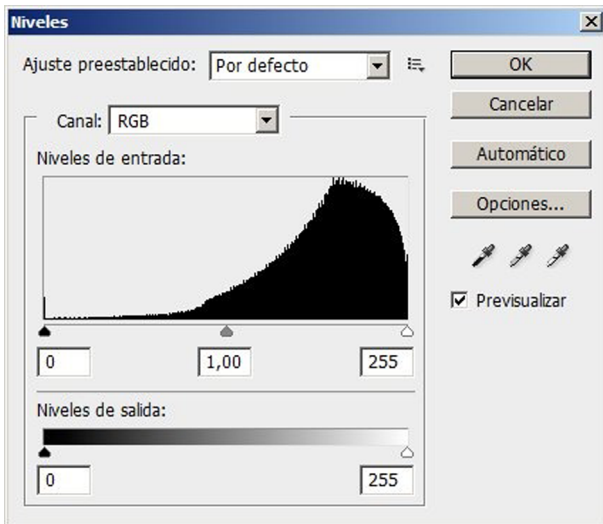


En haver modificat la distribució de grisos de la imatge original en el pas 3, el que s'ha fet ha estat demanar al programa que requantifiqui els nivells de llum, de manera que ara es pot veure clarament com la precisió en la gamma de grisos propera al negre és molt petita.

5) Pas 5

Observeu que en repetir els passos 2, 3 i 4 a partir d'un document que en lloc de 8 bits per canal n'utilitza 16, l'histograma resultant és molt diferent.

Figura 74. Histograma resultant d'una imatge de 16 bits a la qual s'ha aplicat un procés de requantificació.



En aquest cas la gamma entre el gris mitjà i el negre ha perdut menys quantitat d'informació, ja que en origen es partia d'una imatge amb un gran detall en la gamma de grisos compresos entre el blanc i negre absoluts. Fixeu-vos que, en treballar a 16 bits, la quantitat de nivells de quantificació és molt més gran que en el cas dels 8 bits, i això es tradueix en el fet que la imatge que té més quantitat de bits és capaç de suportar millor els processos que se li apliquin.

En conclusió, en aplicar un procés sobre una imatge pot semblar que aquesta no es degrada. Però quan el grau de manipulació augmenta, la pèrdua pot arribar a fer-se visible. Per aquesta raó, en aplicacions professionals, és important partir de formats d'imatge amb nivells elevats de profunditat de color.

3.3.4. Targetes de vídeo

És molt habitual que es creï la confusió entre dos dispositius quan es treballa en el mitjà audiovisual amb suport informàtic. Aquests són les **targetes gràfiques** i les **targetes de vídeo**. De fet, les targetes gràfiques sovint es denominen *targetes de vídeo*. Estrictament, no hauria de ser així, ja que cada una té una funció diferent, però comparteixen mètodes de treball.

La targeta de gràfica és un circuit que té com a objectiu transmetre i processar les imatges de l'ordinador a la pantalla perquè aquesta la pugui representar.

Durant molts anys i encara en l'actualitat, les pantalles d'ordinador treballen amb senyals analògics, i això implica que es requeria d'algun dispositiu que fes la conversió de les dades digitals que codifiquen la imatge a analògiques perquè el monitor pogués representar la imatge en la pantalla. Aquest procés de conversió el fa un dels components de la targeta gràfica denominat **RAM-DAC** (*random access memory digital to analog converter*).

Realment seran les característiques de la targeta gràfica les que definiran les limitacions de visualització d'una imatge en la pantalla, de manera que quan s'especifica una resolució en la targeta de vídeo, el que fa és indicar la quantitat de píxels que es vol que omplin la superfície de la pantalla. Lògicament cada pantalla té una resolució màxima, i no té sentit assignar-hi una resolució superior a la que aquesta pot suportar, ja que no la podrà representar. Però fins que no se superi la màxima resolució, es pot configurar la targeta gràfica per a indicar a la pantalla quants píxels volem que aquesta representi.

Exercici 5

Busqueu en les especificacions tècniques del vostre ordinador, quina és la màxima resolució que és capaç de suportar la vostra pantalla. Posteriorment aneu a l'opció de configuració de pantalla i observeu la resolució que hi ha seleccionada. Abans de fer cap modificació és important apuntar-se la resolució amb què es treballa habitualment per a poder restaurar posteriorment el sistema. Canviar la resolució de la targeta gràfica i treure conclusions.

Si una pantalla té una resolució màxima de 1.280×800 píxels i es configura la targeta gràfica perquè treballi a una resolució de 800×600 , es veuran totes les icones i finestres més grans i amb menys definició. Si, al contrari, es té una targeta gràfica amb una resolució màxima superior a la resolució que és capaç de suportar el monitor, automàticament la targeta s'adapta a la resolució màxima que el monitor suporta i no permet treure el màxim rendiment de la mateixa targeta. Per aquesta raó és important ser sempre conscients de les limitacions tant de la pantalla com de la targeta gràfica amb què es treballa, per poder-ne treure el màxim rendiment.

Actualment, algunes targetes gràfiques, a més de connectar l'ordinador a la pantalla, incorporen la possibilitat de connectar l'ordinador, una televisió o un vídeo auxiliar, ja que ofereixen la possibilitat de monitorar, per exemple, una pel·lícula en la pantalla del televisor. Fins i tot, en alguns casos incorporen sintonitzadors de televisió per a poder veure la televisió en el propi ordinador. En l'àmbit professional, en el qual sovint es requereix més d'una pantalla per ordinador, la que ofereix l'opció de dividir l'escriptori entre diferents pantalles també és la targeta gràfica.

En aplicacions de vídeo professional, és molt habitual que a l'ordinador, a part de la targeta gràfica, també s'inclouï una targeta de vídeo. La funció d'una targeta de vídeo és actuar com a interfície de vídeo, permetent introduir o treure de l'ordinador un senyal de vídeo analògic o digital.

Les primeres targetes de vídeo que van aparèixer en el mercat tenien com a únic propòsit digitalitzar el senyal analògic que venia dels vídeos per a poder processar-lo digitalment en l'ordinador. Una vegada acabada l'edició del vídeo, es podia copiar de nou el muntatge en un vídeo passant per la targeta de vídeo que s'encarregava de reconvertir el senyal ara de digital a analògic.

Al cap d'uns quants anys, les targetes de vídeo van anar evolucionant fins al punt d'incorporar processadors específics per a accelerar els càlculs del processament de vídeo, la qual cosa permetia al muntador crear efectes de vídeo en temps real, sense necessitat de demanar al processador de l'ordinador que ho calculés.

Actualment les targetes de vídeo que hi ha en el mercat suporten des de senyals de vídeo analògiques (vídeo compost, components, Y/C, etc.) fins a protocols de vídeo digital (HDSDI, SDI, Firewire, HDMI, etc.). Incorporen grans circuits d'acceleració de càlculs per a alliberar de treball la CPU de l'ordinador, amb la qual cosa els temps de processament s'han reduït enormement.

3.4. Problemes

Pràctica 1

Investiga dels elements que hi ha a la taula, a quants bits poden processar com a màxim el color cada un d'ells:

Taula 6. Taula de relació entre formats i diferents profunditats de color

Format	Profunditat de color
DVD	
HDCAM SR	
Càmera cinematogràfica digital RED ONE	
Photoshop	

Pràctica 2

Per quina raó creieu que una càmera de vídeo professional utilitza més bits en la captació de la imatge que els que posteriorment pot emmagatzemar el format d'enregistrament?

Pràctica 3

Investigueu en què consisteixen els sistemes que treballen mitjançant el color indexat.

Pràctica 4

A partir de la finestra de selecció de color del Photoshop, genereu els colors complementaris (C, M, Y i K) a partir de combinacions d'R, G i B. I observeu les seves relacions.

Pràctica 5

Feu un petit estudi de mercat de les targetes de vídeo que hi ha en l'actualitat, observant la tipologia de senyals d'entrada i sortida que suporten, resolucions de vídeo, circuits d'acceleració de càlculs i preus (alguns dels fabricants principals de targetes de vídeo poden ser Matrox, AJA, Pinnacle, etc.)

Bibliografia

Evening, Martin (2009). *Photoshop CS4 para fotógrafos*. Anaya Multimedia.

Keith, Jack. *Video Demystified*. Editorial Newnes.

Pareja Carrascal, Emilio (1993). *Teoría i pràctica de la càmera de vídeo*. Ixia Llibres.

Perales, Tomás (1992). *Cámaras de video*. Paraninfo.

Raimondo Souto, H. Mario (2007). *Manual del cámara de cine y video*. Ediciones Cátedra.

Tarrés Ruiz, Francesc (2000). *Sistemas Audiovisuales. Television analógica y digital*. Edicions UPC.

Watkinson, John. *El arte del video digital*. Editorial Focal Press.

Webs

<http://dvxuser.com/jason/CMOS-CCD/>

<http://www.dalsa.com/public/dc/>

[documents/Image_Sensor_Architecture_Whitepaper_Digital_Cinema_00218-00_03-70.pdf](#)

<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-sensors.htm>

