

RESOLUCIÓ DE DIGITALITZACIÓ DE COL·LECCIONS D'ORIGINALS FOTOGRÀFICS

Carles Mitjà i Raquel Revuelta
CITM / FUPC / Laboratori de Qualitat de la Imatge (LQI).
Terrassa, Barcelona.
<carles.mitja@fundacio.upc.edu>

INTRODUCCIÓ

La digitalització de col·leccions d'originals fotogràfics comporta la necessitat de decidir diverses qüestions relacionades amb la resolució espacial. Alguns estàndards sobre la resolució necessària estableixen taules de valors en funció del tipus d'original i les aplicacions de sortida posteriors de l'arxiu digital. També les mides dels originals, les ampliacions habituals a l'època i/o el respecte a les mides d'ampliació utilitzades per l'autor dels originals, són qüestions que es poden tenir en compte a l'hora de decidir sobre resolucions de digitalització.

En d'altres ocasions es planteja la necessitat d'escanejar a resolucions més altes per tal de poder ampliar la còpia de sortida amb la finalitat d'analitzar sectors de la imatge tant pel que fa a la seva estructura física com a detalls del contingut iconogràfic. Per altre banda i tenint en compte la quantitat d'originals a escanejar en determinats casos, el volum d'informació generat, la dificultat d'emmagatzematge i accés, el temps necessari per dur a terme la digitalització o el tipus i durada de les irradiacions sobre l'original, són també paràmetres a valorar.

En totes aquestes consideracions s'assumeix que les prestacions de l'aparell de digitalització són independents de la resolució a que es treballi. En aquest sentit, només una anàlisi detallada de les prestacions anunciades amb la conseqüent comprovació de les prestacions reals amb mètodes objectius, poden ajudar a trobar l'equilibri entre resolució i qualitat. El treball que es presenta estudia i compara, amb mesures objectives de la qualitat obtinguda en cada cas, els arxius escanejats a alta resolució i els escanejats a baixa resolució i posteriorment interpolats amb diversos sistemes.

RESOLUCIÓ DE DIGITALITZACIÓ

La resolució de digitalització determina la mida imprimible per un dispositiu de sortida donat. La decisió sobre aquesta xifra hauria de bascular entre la necessitat d'ampliació de la còpia resultant, les prestacions de l'instrument de digitalització per a cadascuna de les resolucions de treball i el nivell de qualitat exigible per ampliació a un original d'època. De fet, totes les mides dels materials destinats a ser ampliat (negatius i diapositives) han estat concebudes, a les diferents èpoques, per a unes mides de còpia determinades. En el cas de les còpies positives, les dimensions de l'original determinen les decisions que es varen prendre en el seu moment i que caldria respectar per raons, tècniques, estètiques i històriques.

La tria de la resolució de digitalització hauria de correspondre's doncs, amb aquests criteris. Una còpia positiva es digitalitzaria a una resolució que permetés la seva reproducció a la mateixa mida original amb els mitjans disponibles en la actualitat; això ens porta a una resolució de entre 300 i 450ppi per assolir el màxim nivell de qualitat actuals. El mateix criteri caldria seguir amb negatius destinats, en la seva època, a ser copiats per contacte. Com a mesura de precaució addicional, podrien establir-se resolucions lleugerament més altes en previsió de necessitats futures (600ppi).

Els originals translúcids, negatius o positius, destinats a còpia ampliada s'haurien de digitalitzar a una resolució que permetés aquesta ampliació posterior; decidir el grau d'ampliació és una qüestió que cal relacionar amb la informació disponible sobre els hàbits de l'època o del autor en concret i, en el cas de no disposar d'aquesta informació, es podria establir com estàndard una mida entre 18x24 i 20x25cm. Aquesta mida de còpia es la subtendida per la piràmide visual d'un observador adult a la distància de visió còmoda i amb visió sana o convenientment corregida (6-RAY).

En aquest mateix context, les necessitats d'ampliació amb finalitats d'exhibició o estudi de detalls poden induir a resolucions de digitalització superiors als expressats en els paràgrafs anteriors. En

qualsevol cas, les limitacions imposades pel rendiment dels aparells i les conseqüents restriccions en la qualitat de les imatges resultants haurien de ser tingudes en compte com a informació complementària als arxius per futura informació sobre la seva fidelitat a l'original. Tenint en compte tot aquest plantejament i atenent als resultats de rendiment detectat en els equips disponibles a l'actualitat, s'han publicat (8-STA) taules de resolucions de digitalització recomanades segons el tipus d'original (Taula 1).

Tipus d'original	Resolució espacial
Còpies positives BN	600ppi
Còpies positives en color	600ppi
Negatius i diapositives BN (per ampliar)	2000ppi
Negatius color (format mig per ampliar)	1200ppi
Negatius color 35mm (per ampliar)	2000ppi
Diapositives color 35mm	2000ppi
Diapositives 35mm BN	2000ppi
Il·lustracions a diaris i llibres	300 – 600ppi
Objectes	300ppi

Taula 1

Aquestes xifres de resolucions de digitalització recomanades obeeixen a criteris no només relacionats amb les necessitats que resulten de les característiques de l'original i les aplicacions de l'arxiu digital, sinó també de les prestacions dels aparells de digitalització. Per altre banda, en diversos treballs es qüestionen les xifres de resolució anunciades pels fabricants dels diferents escàners (11-WILL). En realitat, aquestes recomanacions de resolucions de digitalització es basen en el supòsit que l'aparell té el rendiment que li correspon per gama, preu o prestacions i tipus de treball a que està destinat. Harmonitzar tots aquests condicionants només és possible si es caracteritza prèviament l'instrument per conèixer les xifres reals de les que partir en determinar les resolucions a utilitzar.

CARACTERITZACIÓ DE L'ESCÀNER

La caracterització de les prestacions d'un escàner destinat a la digitalització d'originals fotogràfics està àmpliament descrita en diversos treballs i estàndards (10-WILL). A mode de resum, els paràmetres que defineixen la qualitat dels resultats aportats per un escàner es basen en la seva *resolució espacial* per una banda i per la *resolució cromàtica* per l'altre; es a dir, no n'hi ha prou amb que un escàner subdivideixi la informació de l'original en un gran nombre de mostres (*resolució espacial*), sinó que també ho ha de fer en un gran nombre de valors adjudicables a cadascuna d'aquestes mostres (*resolució cromàtica, profunditat de bit o profunditat de color*).

En una primera aproximació, és habitual que els dos valors es trobin en les especificacions de l'aparell però, com ja s'ha dit, les xifres anunciades poden no coincidir amb les prestacions reals, no tant per un engany premeditat com per una interpretació allunyada de les necessitats de garantir una fidelitat a l'original en les reproduccions. Tenint en compte que la determinació dels valors reals d'aquestes magnituds en cada cas en particular no és a l'abast de l'usuari, s'han establert estàndards de mesura de les prestacions basats en sotmetre l'aparell a la reproducció d'un patró la imatge del qual proporciona dades de rendiment en termes de resolució i contrast. Aquestes dues magnituds no només es veuen afectades per les prestacions reals de l'aparell sinó que alhora tenen l'avantatge d'estar estretament relacionades amb els paràmetres de detecció de la visió humana (1-ART).

De les diverses proves descrites per avaluar la capacitat de l'aparell per resoldre detalls i amb quin contrast és capaç de fer-ho, la funció de transferència de la modulació (*MTF per modulation transfer function*) és la més utilitzada. En el cas de les càmeres i els escàners, el procediment més utilitzat per la determinació de la *MTF* és el que s'anomena de la vora inclinada (*Slanted Edge Method*). A l'abast de qualsevol usuari, el *plugin SE_MTF (5-MIT)* pel programa de processat d'imatges de lliure accés *ImageJ* permet determinar la *MTF* d'una càmera o un escàner per aquest mètode.

Una vegada determinada la corba *MTF*, s'han descrit pautes per a la interpretació dels resultats; en aquest sentit, un estàndard comunament acceptat és que el valor del factor de modulació (*M*) a la freqüència de *Nyquist* ha d'assolir un valor mínim de 0,1 (o del 10% segons com s'expressin els resultats) per tal que el contrast que suposa sigui útil en termes de detecció pel sistema visual humà. Això equival a dir que la resolució efectiva de l'escàner per unes condicions donades és aquella a la qual el factor de modulació (*M*) tingui un valor de al menys 0,1 (10-WILL).

A la *Figura 1* es mostren resultats comparatius per diverses resolucions espacials en dos models d'escàner. A les dues fileres superiors (de (a) a (h)) es mostren els resultats de la *MTF* d'un escàner de gama mitja amb una resolució anunciada de 4800ppi per la modalitat d'originals opacs (reflexió), àrea de treball DIN-A4, mapa de transició de luminància lineal i desactivació de millora de detecció de vores (4-MIT); les vuit corbes corresponen a les resolucions de 72, 150, 300, 600, 1200, 2000, 2400 i 4800ppi. Dels resultats es desprèn que només les resolucions de 72, 150 i 300ppi aconsegueixen amb l'estàndard anomenat en el paràgraf anterior que determina la resolució efectiva de l'aparell en funció de la freqüència espacial amb una retenció de contrast de almenys el 10%; la resolució de 600ppi es troba just per sota del mínim exigint per la norma. A la filera inferior (de la (i) a la (l)), es mostren els resultats per un escàner de gama alta DIN-A3 amb les mateixes condicions que el que s'ha esmentat anteriorment, a les resolucions de 150, 300, 600 i 1250ppi; en aquest cas, l'aparell aconsegueix amb l'estàndard fins a la resolució de 600ppi.

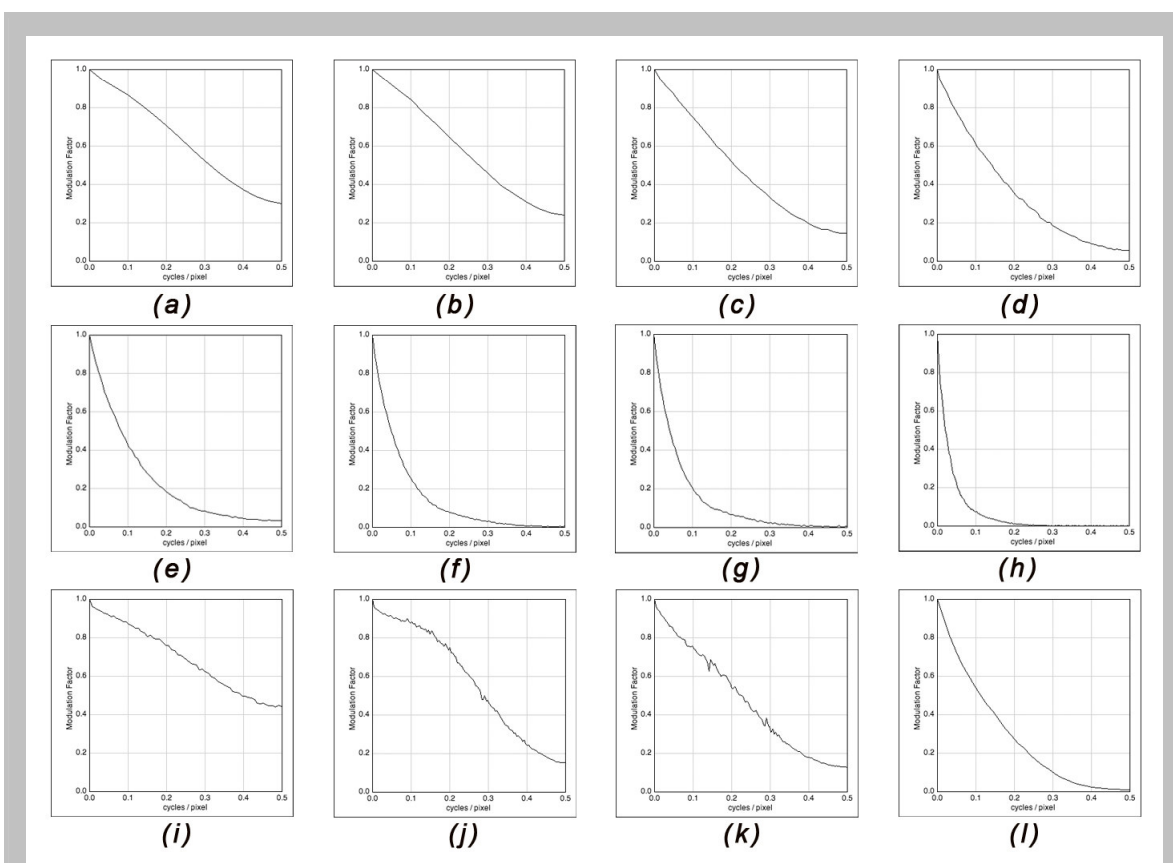


Figura 1. Corbes MTF de dos escàners en modalitat d'originals opacs. De la (a) a la (h), resolucions espacials de 72, 150, 300, 600, 1200, 2000, 2400 i 4800ppi d'un model de gama mitja i àrea de treball DIN-A4. De la (i) a la (l), resolucions de 150, 300, 600 i 1250ppi d'un model de gama alta amb una àrea de treball de mida DIN-A3.

Cal fer notar, però, que mentre en el primer cas el fabricant anuncia una resolució espacial de fins a 4800ppi, l'escàner de gama alta anuncia com de resolució òptica no interpolada les quatre que es mostren en els resultats. Encara que no resulta fàcil determinar la resolució espacial nativa de cada aparell, sembla evident a través dels resultats de la *MTF* que en ambdós casos es troba entre els 300 i els 600ppi. En aquest sentit, el treball publicat el 2004 per Don Williams (11-WILL)

dels laboratoris de recerca de *Kodak*, diu textualment que “la majoria de resolucions anunciades per sobre de 600ppi han de ser considerades sospitoses”¹ per escàners de reflexió.

Com a conclusió, només la caracterització per mitjans numèrics i objectius resulta útil per determinar amb seguretat les conseqüències de les decisions preses en el disseny de l'aparell i de la forma d'expressar-les com a dades tècniques en la informació del mateix. Les dades aportades per la *MTF* son independents dels condicionants tecnològics i les interpretacions que es puguin fer de les característiques tècniques de l'aparell.

Dels resultats obtinguts en ambdós aparells es dedueix que el límit de resolució espacial acceptable segons els estàndards és de 600ppi, amb un millor resultat pel model de gama alta que pel de gama mitja. En el cas de la digitalització d'originals opacs (còpies fotogràfiques, material imprès, etc.), aquesta resolució implica poder duplicar la mida de l'original una vegada imprès per mitjans digitals amb un nivell de qualitat alta (300ppi), suficient en la majoria dels casos.

En el cas dels originals translúcids (negatius o diapositives, rígids o flexibles) que s'escanegen per transmissió, les consideracions a tenir en compte son diferents perquè en primer lloc cal decidir si la digitalització ha de comportar una ampliació de l'original o no; mentre una placa negativa de vidre de 8x10” que es copiava per contacte es pot escanejar a 300ppi per aconseguir una còpia impresa de la mateixa mida equivalent al contacte d'època, un negatiu en pel·lícula de 35mm ha de poder ser ampliat almenys a 18x24cm en la còpia impresa després de la digitalització. En aquest darrer cas i atenent a una resolució de sortida de 300ppi a la còpia final, cal digitalitzar a aproximadament 2000ppi (factor d'ampliació = 6,6) sobre l'original.

El escàners de qualitat destinats a la digitalització de negatius o diapositives ofereixen un seguit de resolucions anomenades òptiques que garanteixen, en principi, una reducció òptica de l'original sobre el sensor que, en alguns casos pot ser d'àrea i no lineal o trilineal com en el cas dels escàners per originals opacs. Finalment, un tercer tipus d'aparells permeten escanejar tant originals opacs com translúcids; aquesta possibilitat, que s'ofereix tant en aparells de preu modest com en models de gama alta, comporta una complexitat tecnològica difícil de jutjar externament per part de l'usuari fins i tot atenent a les característiques tècniques publicades. Òbviament, qualsevol consideració sobre la qualitat proporcionada per les prestacions anunciades, cal que es comprovi mitjançant les metodologies objectives i estandarditzades que s'han comentat en els paràgrafs anteriors.

A la *Figura 2* es mostren els resultats de les *MTF* d'un escàner mixt de gama alta en modalitat de transmissió i àrea de treball *DIN-A4*, per les resolucions espacials de 600, 1270, 2000 i 2540ppi, totes elles anunciades com a resolucions òptiques pel fabricant. Només la resolució de 600ppi aconsegueix amb l'estàndard d'un contrast mínim del 10% a la resolució màxima.

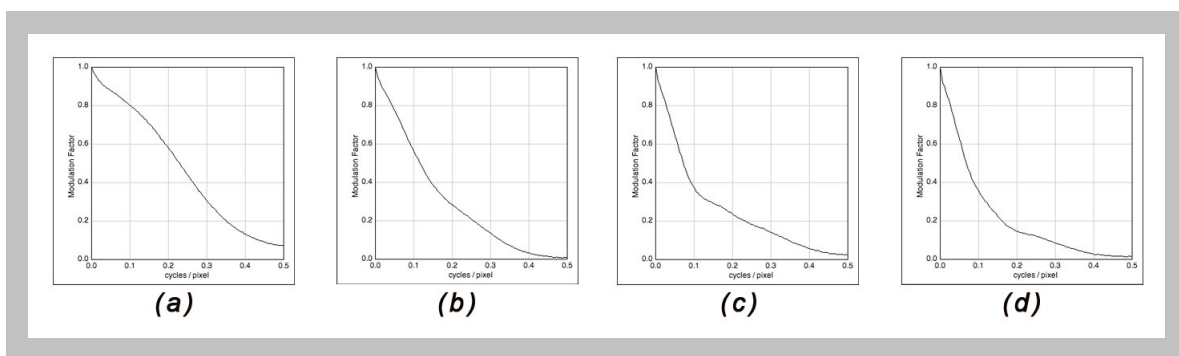


Figura 2. Corbes MTF de la modalitat de transmissió d'un escàner mixt (reflexió/transmissió) de gama alta; (a), (b), (c) i (d) corresponen respectivament a les resolucions espacials de 600, 1270, 2000 i 2540ppi.

A la *Taula 2* es mostren, a la fila central, les resolucions efectives de l'aparell, calculades a partir del criteri abans esmentat, per a cadascuna de les resolucions òptiques anunciades. A la fila inferior s'hi mostren les resolucions per a les quals l'aparell reté en la imatge un 50% del contrast

¹ “Most resolution claims greater than 600dpi should be viewed with suspicion”.

de l'original; aquest valor és un altre estàndard de comparació entre el rendiment de diversos aparells o modalitats d'escaneig.

Resolució anunciada	600ppi	1270ppi	2000ppi	2540ppi
Resolució efectiva	564ppi	838ppi	1400ppi	1422ppi
Resolució amb 50% de retenció de contrast, (M = 0,5)	276ppi	304ppi	300ppi	355ppi

Taula 2

De la Taula 2 es dedueix que des del punt de vista de la captació del detall existent a l'original no representa cap avantatge escanejar a 2540ppi doncs el rendiment de l'aparell és pràcticament idèntic que en fer-ho a 2000ppi. Els resultats de la resolució a la que es produeix una retenció del contrast del 50% mostren un comportament similar sigui quina sigui la resolució màxima triada. Això es pot observar també en el traçat de les diverses corbes *MTF*; mentre a la resolució de 600ppi l'aparell proporciona un bon contrast a les freqüències mitges/altas, les altres resolucions només mantenen un nivell de contrast acceptable per a les freqüències baixes.

Per altre banda i seguint amb l'exemple de l'escàner en modalitat de transmissió de gama alta esmentat, l'exploració d'una placa de vidre de mida 18x24cm comporta 5min a una resolució de 600ppi i una profunditat de 16bit, mentre que necessita 25min per escanejar la mateixa placa a una resolució de 2000ppi i 16bit de profunditat de color. Cal valorar sobre tot, si la diferència de qualitat aportada justifica el temps esmerçat i la irradiació de l'original que això suposa.

PROCESSAT DE LES IMATGES DIGITALITZADES

Si el tipus i mides de l'original impliquen una ampliació posterior a la digitalització com es el cas dels negatius i diapositives de 35mm, cal establir un protocol de processat de les imatges obtingudes per restituir, almenys en part, el contrast perdut a les altes freqüències de la imatge. Aquesta millora es pot aconseguir per diversos mètodes encara que sempre han d'actuar en dos direccions: reducció del possible soroll present en la imatge i millora de la visibilitat de les vores, sobre tot en la banda d'altas freqüències on la *MTF* mostra una fallada més clara del rendiment del sistema. Una alternativa la constitueixen els aparells específicament dissenyats per escanejar originals petits per transmissió.

Prenent com a cas d'estudi l'arxiu generat per determinar la *MTF* de l'escàner mixt de gama alta analitzat en l'apartat anterior en la modalitat de transmissió i 2000ppi, es procedeix a processar-lo aplicant les següents operacions:

- Filtre de mediana per reduir la presència de soroll, sobre tot a la part fosca del test. La matriu seleccionada és l'entorn de 5x5píxels.
- Màscara d'enfocament (*unsharp mask*) amb successives seleccions del valor de sigma de $\sigma = 0,5$, $\sigma = 1,0$ i $\sigma = 1,5$.

El soroll present en la imatge es deu tant a defectes de funcionament de l'escàner i el seu software de gestió, com a irregularitats inevitables en la preparació del test; tenint en compte que quan es sol·licita una major resolució espacial l'escàner tarda més en escanejar l'original, només aquest augment del temps d'activació del sensor ja implica una major generació de soroll. El filtre de mediana amb una matriu d'entorn de 5x5píxels minimitza la presència d'aquest soroll substituint el valor de gris de cada píxel pel valor de la mediana de la sèrie composada per els valors de gris dels vint-i-quatre píxels veïns a més del valor del píxel en qüestió.

Si el soroll es caracteritza per un valor de gris diferent i aïllat del dels píxels veïns, aquest valor diferent queda sempre en un extrem de la sèrie allunyat del valor de la mediana. El valor a regular en la majoria de programes de processat d'imatge per el filtre de mediana, es refereix a la mida en píxels del soroll a tractar i s'utilitza per determinar el nombre de píxels de la matriu d'anàlisi segons la equació:

$$k = 2w + 1$$

on k és el nombre de píxels d'una fila o columna de la matriu d'anàlisi i w la mida en píxels de les ocurrences de soroll a eliminar (7-SEUL). En el cas que es descriu, el valor seleccionat al programa de processat és $w = 2$ el que implica, segons l'equació, una matriu de 5x5píxels.

Si es vol evitar que el filtre empitjori la definició de la vora del test, es poden fer servir filtres derivats del de mediana encara que una mica més complexes com el de *mediana híbrid bidimensional* o el *Kuwahara (9-VVAA)*; en qualsevol cas, els filtres basats en el càlcul de la mediana són relativament respectuosos amb les vores de la imatge i restringeixen la seva actuació a les zones contínues on els píxels diferenciats representen una alteració de la continuïtat.

La màscara d'enfocament és un filtre àmpliament utilitzat per millorar la visibilitat de les vores presents en una imatge. El seu funcionament es basa en restar de la imatge original una versió desenfocada per aïllar-ne les altes freqüències; posteriorment, aquestes altes freqüències es sumen a la imatge original, millorant així la visibilitat de les mateixes en fer-se més brillants. Aquest procediment s'inspira en el funcionament de l'ull (*3-GON*) i ha estat àmpliament utilitzat en les arts gràfiques i la fotografia fotoquímica abans de ser implementat com a filtre de processat d'imatge digital.

Del grau de desenfocament de la versió temporal que el programa crea per restar-la de la imatge original, en depèn la banda d'altres freqüències seleccionada. Com que el desenfocament es realitza per convolució de la imatge original amb una matriu els coeficients de la qual obeeixen a una distribució de *Gauss*, el valor de la desviació estàndard (σ) d'aquesta distribució determina el desenfocament i en conseqüència, la banda freqüencial afectada. Com més petit és el valor de σ , més alta és la freqüència afectada per la millora de visibilitat de vores; no obstant i a causa de la resolució del sistema visual, la millora de la visibilitat de les altes freqüències de la imatge és més imperceptible que la de les mitges i baixes freqüències.

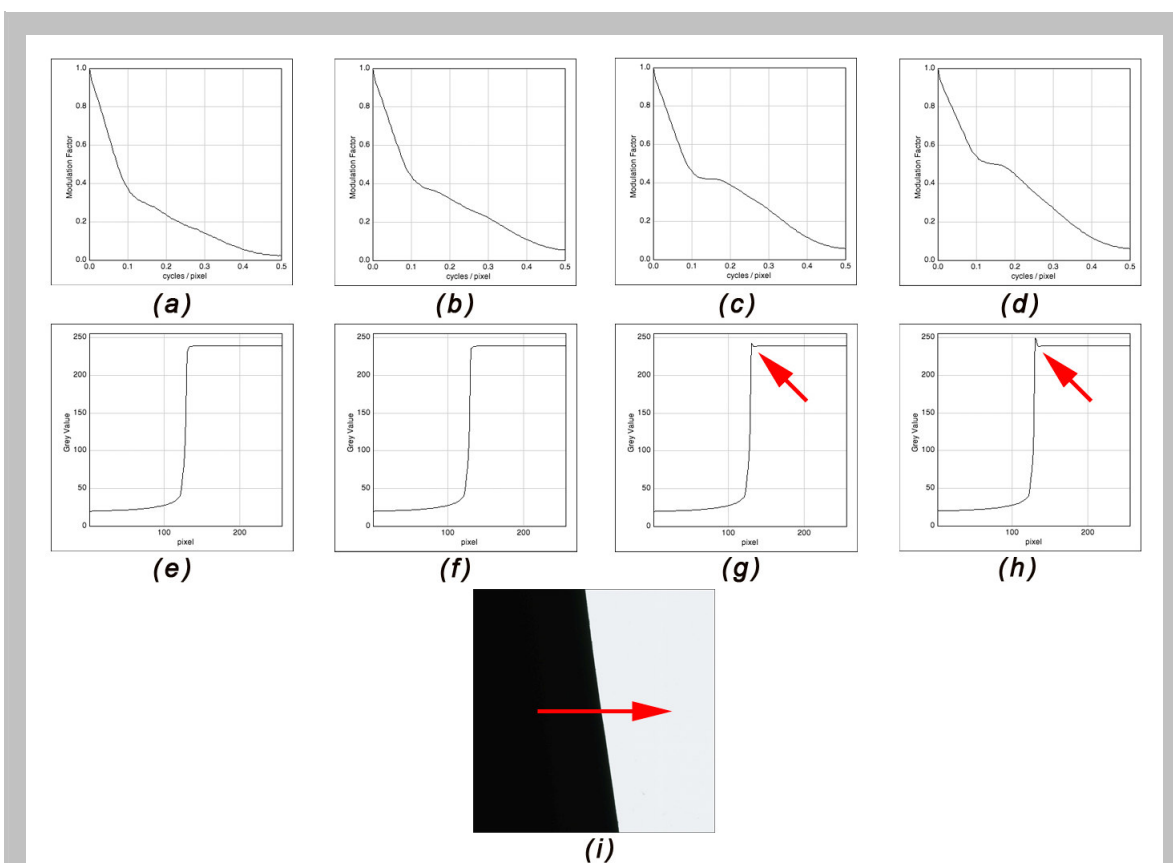


Figura 3. A la fila superior, corbes MTF corresponents a l'arxiu original obtingut digitalitzant a una resolució de 2000ppi (a); a continuació, les corresponents als arxius resultants del processat amb màscares d'enfocament amb valors de sigma 0,5, 1,0 i 1,5 respectivament. A la fila central es mostren les corresponents ESF on es poden apreciar les alteracions introduïdes a la vora per el processat amb màscares d'enfocament amb valors de sigma 1,0 (g) i 1,5 (h). A baix, imatge del patró per la determinació de la MTF amb indicació de la direcció de lectura del valor de gris dels píxels per traçar les ESF i calcular posteriorment les MTF.

A la *Figura 3* es mostra el grau de millora aconseguit amb el processat d'imatge descrit. A la part superior es mostren les corbes *MTF* corresponents respectivament a l'arxiu original sortit de l'escàner (a) i a continuació (b), (c) i (d), les millores aportades per les màscares d'enfocament de $\sigma = 0,5$, $\sigma = 1,0$ i $\sigma = 1,5$; el filtra de minimització del soroll aplicat és el mateix per a tots els arxius (mediana de 5×5 píxels). L'augment del contrast a les freqüències mitges i altes resulta evident i en tots els casos, la resolució efectiva puja a 1680ppi en comptes del discret valor de 1400ppi que s'aconsegueix inicialment.

A la fila de sota es mostren els traçats de les corresponents funcions d'extensió de la vora (*ESF* per *Edge Spread Function*); la *ESF* és el gràfic del valor de gris dels píxels de la vora emprada com a test per la determinació de les *MTF*; la lectura dels valors de gris es realitza en direcció transversal a la posició de la vora tal i com s'indica amb la fletxa vermella a (i). Mentre a (f) no s'observa cap alteració de la vora causada per el processat de la imatge original, a les *ESF* corresponents a valors de $\sigma = 1,0$ i $\sigma = 1,5$ (g) i (h), es pot apreciar clarament la presència de bandes de *Mach* (1-ART) que alteren l'aspecte de la imatge processada; en aquest cas doncs, la millora aportada per el processat comporta l'aparició d'alteracions alienes a les característiques originals de la imatge.

ALTERNATIVES DE PROCESSAT

De les comprovacions realitzades en els apartats anteriors es dedueix que esprémer la sol·licitud de resolució espacial i procedir al processat de la visibilitat de les vores de les imatges aconsegueix obtenir un resultat acceptable encara que a través d'un procés llarg, laboriós i que, en molts casos, representa una agressió als originals en sotmetre'ls inicialment a una irradiació perllongada.

Si bé la digitalització de negatius o diapositives amb finalitats de reproducció a la mateixa mida que l'original queda resolta amb resolucions espacials de 300ppi o, a tot estirar, 600ppi , quan el problema és la ampliació d'aquesta mena d'originals per estudiar-ne detalls del contingut iconogràfic, estructura física o deterioraments localitzats, el procediment esmentat presenta mancances evidents. Una qüestió és aconseguir subdividir l'original en un nombre determinat de porcions i una altre és que aquestes porcions aportin la informació continguda en l'original.

Si es pren com a punt de partida que els resultats aconseguits amb resolucions espacial altes i processat posterior només son una referència que emula el contingut de l'original, l'alternativa d'escanejar a una de les resolucions a les que l'aparell dona un bon rendiment i després escalar el resultat per interpolació de píxels mereix ser considerada doncs hauria de permetre reduir el temps d'escaneig reduint al mateix temps la irradiació de l'original.

Els mètodes d'interpolació de píxels permeten augmentar la resolució espacial de les imatges intercalant píxels nous entre els existent inicialment. La clau de l'èxit de l'operació en termes de qualitat d'imatge rau en el mètode utilitzat per adjudicar el corresponent valor de gris als nous píxels. Els sistemes d'interpolació es divideixen en dos grups, algorismes no adaptatius i algorismes adaptatius (2-BOU i 3-GON).

Mentre els primers generen els valors de gris dels nous píxels necessaris en base als valors de gris dels píxels que seran veïns del nou, els sistemes adaptatius procedeixen de forma diferent segons el contingut freqüencial de les diferents regions de la imatge; és a dir, interpolen amb diferents algorismes segons es tracti d'una vora de transició entre valors de gris diferents, d'una zona contínua i llisa o d'un grup de píxels amb contingut textural extens.

Si bé els algorismes no adaptatius no aconsegueixen els mateixos nivells de qualitat que els adaptatius, un avantatge en favor dels primers és l'estalvi d'esforç computacional que suposen. La velocitat de treball d'un algorisme no adaptatiu depèn només del processador de la màquina, del nombre de píxels de l'arxiu i del nombre de píxels nous a crear; en el cas dels algorismes adaptatius, als condicionants anteriors cal afegir-hi les característiques freqüencials de la imatge que son diferents en cada cas i que poden alentir o accelerar el procés de càlcul.

Exemples d'algorismes d'interpolació no adaptatius son els anomenats de veí més proper (*nearest neighbor*), bilineal, bicúbic, *spline* i *Lanczos*; els tres primers amb algunes variants o modificacions son els més utilitzats en la majoria de programes de processat d'imatge. Els algorismes adaptatius

son molt més complexes i utilitzen estratègies de càlcul fractal o *wavelets*; aquests darrers no es troben disponibles com a eines en les programes habituals de processat d'imatge i formen part de programes específics o *plugin* per afegir a programes ja existents.

En el treball que es presenta s'han provat les interpolacions a 1270 i 2000ppi a partir de l'original escanejat per transmissió a 600ppi amb el mateix aparell que en les proves anteriors. Aquestes interpolacions s'han dut a terme mitjançant dues alternatives d'algorisme no adaptatiu i una amb algorisme adaptatiu. Els dos ajustatges no adaptatius d'*Adobe Photoshop CS3* són el seleccionat per defecte (*bicúbic*) i el recomanat per ampliació de la imatge (*bicúbic suavitzat*). L'algorisme adaptatiu és el que incorpora el *plugin Genuine Fractals 5.0.4* de *onOne Software*. El *software* no especifica quins algorismes aplica a cada regió de la imatge encara que permet regular diversos ajustatges a la interfície gràfica d'usuari; s'han provat els ajustatges *tot a zero* i màscares d'enfocament amb valors de $\sigma = 1,0$ i $\sigma = 2,0$.

A la *Figura 4* es mostren els resultats d'interpolació a 1270ppi l'arxiu original de 600ppi. A la fila superior, les *MTF* de l'arxiu original de 600ppi (a), interpolació a 1270ppi amb l'algorisme bicúbic (b), interpolació a 1270ppi amb l'algorisme bicúbic suavitzat (c) i interpolació a 1270ppi amb *Genuine Fractals 5.0.4* (d); les *ESF* corresponents de la fila inferior mostren la introducció de degradacions a la vora (indicades amb fletxes) per els dos algorismes no adaptatius. El millor resultat correspon a la utilització de l'algorisme adaptatiu de *onOne Software*. Encara que la resolució efectiva del resultat queda en un valor inferior al nominal (940ppi), aquesta supera el resultat obtingut en escanejar directament a 1270ppi (838ppi) (veure la *Figura 2* i la *Taula 2*).

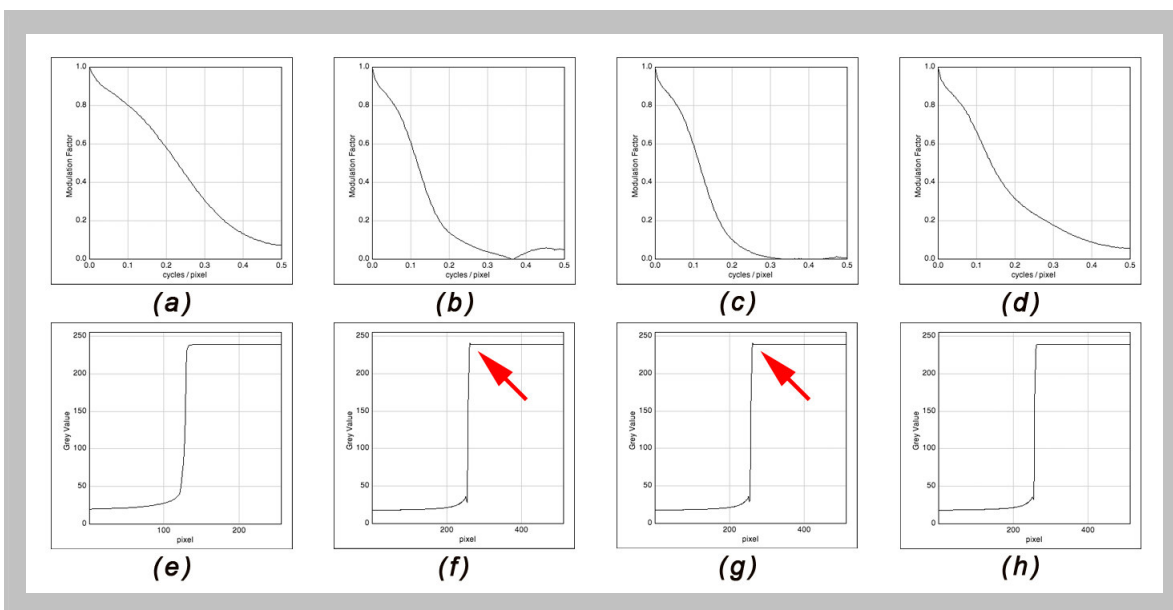


Figura 4. A la fila superior, corbes *MTF* de l'arxiu resultant d'escanejar a 600ppi (a), interpolació a 1270ppi amb l'algorisme bicúbic (b), interpolació a 1270ppi amb l'algorisme bicúbic suavitzat (c) i interpolació a 1270ppi amb l'algorisme adaptatiu *Genuine Fractals 5.0.4* (d); a la fila inferior es mostren les corresponents *ESF* amb indicació de la degradació de la vora introduïda per els algorismes no adaptatius (f) i (g).

A la *Figura 5* es mostren els resultats de seleccionar l'aplicació de màscares d'enfocament als ajustatges de la interfície de treball de *Genuine Fractals*; a la fila superior, (a) i (b) són, respectivament, les *MTF* de l'escaneig a 600ppi i de la interpolació a 1270ppi amb *Genuine Fractals 5.0.4*; a (c) i (d), *MTF* resultants d'aplicar al darrer les màscares d'enfocament amb valors de $\sigma = 1,0$ i $\sigma = 2,0$ respectivament. A la fila inferior, a les corresponents *ESF* es pot observar com amb la màscara de $\sigma = 1,0$ no apareixen degradacions de la vora, mentre que la *MTF* mostra una resolució efectiva coincident amb la nominal i un traçat propi d'una imatge de qualitat. L'aplicació d'una màscara de $\sigma = 2,0$ introdueix una degradació de la vora que s'indica en la *ESF* corresponent (h).

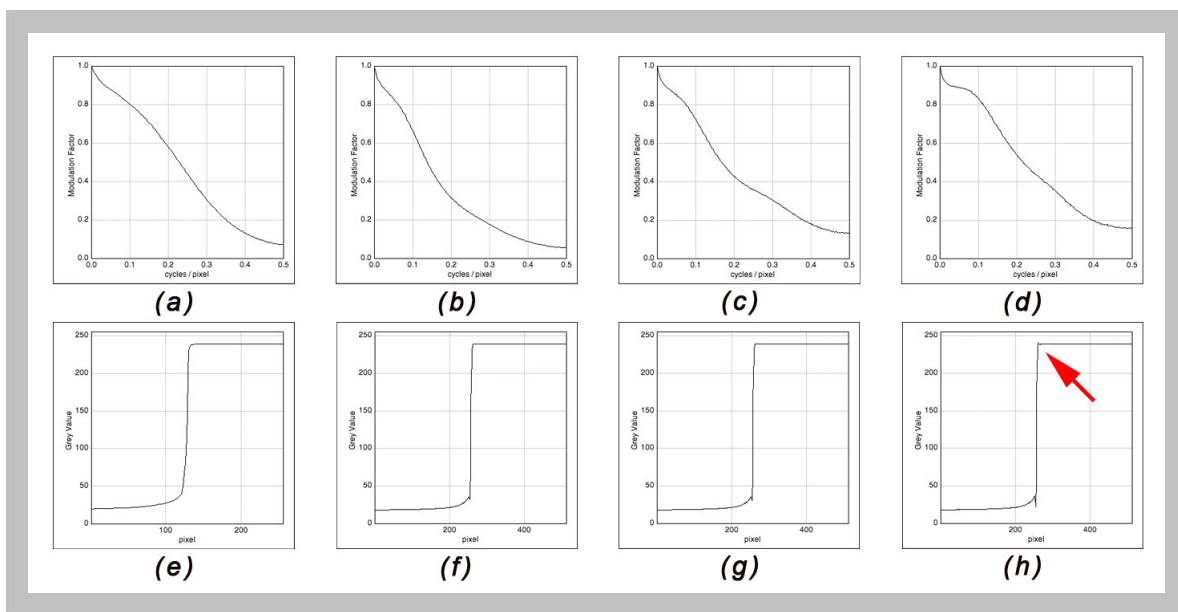


Figura 5. A la fila superior, corbes MTF de l'arxiu resultant d'escanejar a 600ppi (a), interpolació a 1270ppi amb l'algorisme adaptatiu de Genuine Fractals (b), aplicació del mateix algorisme amb màscares d'enfocament de $\sigma = 1,0$ i $\sigma = 2,0$ (c) i (d). A la fila inferior, les corresponents ESF on s'indica l'aparició d'una degradació de la vora induïda per la màscara d'enfocament de $\sigma = 2,0$ (h).

La Figura 6 mostra la prova d'interpolació amb els mateixos algorismes utilitzats anteriorment, assolint ara els 2000ppi. En aquest cas, el resultat no es tant bo com en la interpolació a 1270ppi encara que la resolució efectiva aconseguida en utilitzar l'algorisme adaptatiu amb aplicació de màscara d'enfocament és de 1600ppi; aquest resultat supera el que s'assoleix escanejant directament a 2000ppi, que és de 1400ppi (veure Figura 2 i Taula 2). Cal tenir en compte també que tots els resultats de les interpolacions han suposat un temps d'escaneig molt més breu amb els avantatges que això representa en relació a la irradiació dels originals.

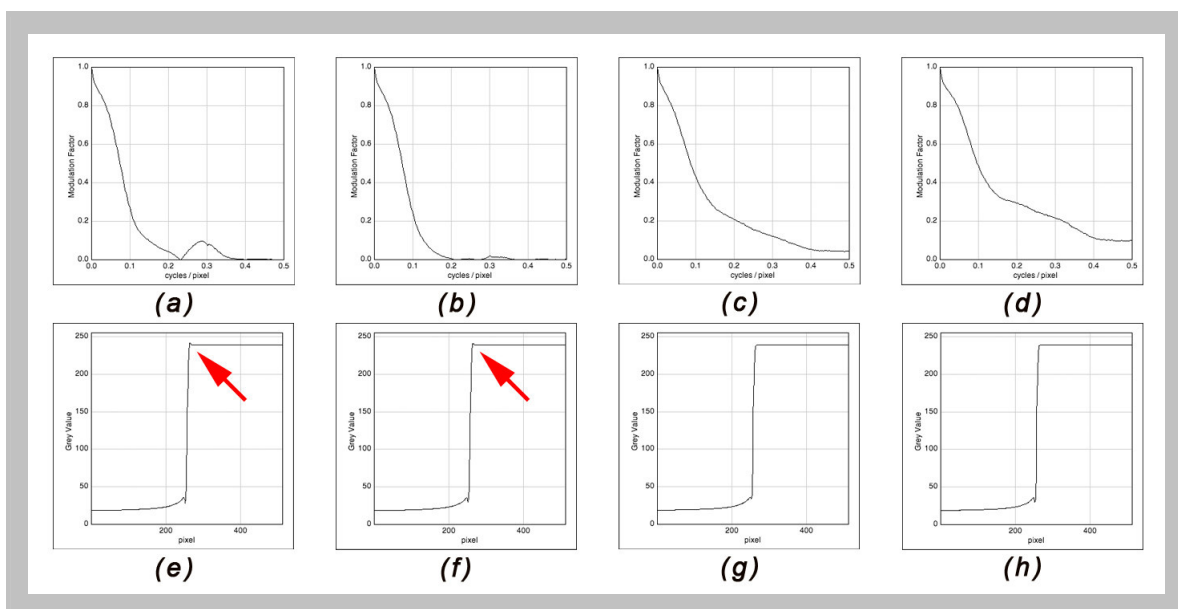


Figura 6. A la fila superior, corbes MTF de l'arxiu resultant d'interpol·lar l'arxiu de 600ppi a 2000ppi amb l'algorisme bicúbic (a), interpolació a 2000ppi amb l'algorisme bicúbic suavitzat (b), interpolació a 2000ppi amb l'algorisme adaptatiu de Genuine Fractals (c) i interpolació a 2000ppi amb l'algorisme adaptatiu de Genuine Fractals seleccionant aplicació de màscara d'enfocament de $\sigma = 1,0$ (d); a la fila inferior es mostren les corresponents ESF amb indicació de la degradació de la vora introduïda per els algorismes no adaptatius (e) i (f).

La Taula 3 resum totes les proves d'interpolació a les resolucions de 1270 i 2000ppi amb els dos algorismes no adaptatius i amb l'adaptatiu *Genuine Fractals 5.0.4*; els millors resultats els proporciona l'algorisme adaptatiu *Genuine Fractals 5.0.4* amb aplicació de màscara d'enfocament de $\sigma = 1,0$ (indicats en gris). Mentre que la interpolació a 1270ppi aconseguix el valor efectiu equivalent, la interpolació a 2000ppi es queda en 1920ppi.

	Escàner mixt de gama alta en modalitat de transmissió DIN-A4				Interpolació bicúbica		Interpolació bicúbica suavitzada		Interpolació amb algorisme adaptatiu <i>Genuine Fractals 5.0.4</i>		Interpolació amb algorisme adaptatiu <i>Genuine Fractals 5.0.4</i> i màscara d'enfocament $\sigma = 1,0$	
Resolució espacial	600ppi	1270ppi	2000ppi	2540ppi	1270ppi	2000ppi	1270ppi	2000ppi	1270ppi	2000ppi	1270ppi	2000ppi
Resolució efectiva	564ppi	838ppi	1400ppi	1422ppi	585ppi	600ppi	508ppi	520ppi	940ppi	1280ppi	1270ppi	1920ppi
Resolució amb retenció del 50% de contrast	276ppi	304ppi	300ppi	355ppi	305ppi	320ppi	305ppi	320ppi	458ppi	360ppi	610ppi	400ppi

Taula 3

CONCLUSIONS

Només les proves de rendiment objectives i estandarditzades dels aparells poden donar una guia vàlida del seu comportament real; en aquest sentit, la *MTF* dels escàners proporciona dades comparables sobre el rendiment a diferents resolucions espacials i sobre els resultats dels diversos mètodes d'interpolació.

El rendiment dels escàners a resolucions espacials superiors a 600ppi decau sobre tot per a les freqüències altes de la imatge, es a dir, per els detalls petits. Les necessitats de resolucions espacials més altes per un estudi detallat de l'original es poden resoldre per mediació de la interpolació de l'arxiu. Les proves efectuades amb algorismes no adaptatius mostren uns bons resultats en termes de *MTF* encara que amb degradacions visibles en les vores de la imatge. Els algorismes adaptatius es manifesten excel·lents fins a doblar la resolució espacial de l'arxiu; superant aquest límit, el rendiment baixa encara que per un factor d'ampliació de 3,3, la pèrdua és menor del 5%. Això suposa poder ampliar una placa de 18x24cm a una mida de còpia impresa de qualitat de 120x160cm o analitzar detalls del seu contingut amb un factor d'ampliació de 6,6.

Aquest sistema permet planificar la digitalització de col·leccions nombroses a una resolució que comporti un bon rendiment de l'aparell, una durada raonable de la operació, una baixa irradiació de l'original i un volum moderat d'informació per emmagatzemar. Finalment, les interpolacions per obtenir duplicats de més alta resolució es poden generar a mesura que es necessitin en comptes de fer-ho per a tota la col·lecció, reduint així les necessitats d'emmagatzematge.

REFERÈNCIES

- ARTIGAS, J.M. et alt. (1995) *ÓPTICA FISIOLÓGICA. PSICOFÍSICA DE LA VISIÓN*. Ed. Interamericana McGraw-Hill, Madrid.
- BOUILLLOT, René (2005) *COURS DE TRAITEMENT NUMÉRIQUE DE L'IMAGE*. Ed. Dunod, Paris.
- GONZÁLEZ, R. C. y WOODS, R. E., *DIGITAL IMAGE PROCESSING*, Prentice Hall 2002, Upper Saddle River, NJ.
- MITJÀ, C., ESCOFET, J. y MARTÍNEZ, B. (2006) *CRITERIOS DE MEJORA DE LA NITIDEZ DE BORDE EN IMÁGENES FOTOGRÁFICAS DIGITALES*, 8ª Reunión Nacional de Óptica, Universidad de Alicante, Alicante.
- MITJÀ, Carles. i REVUELTA Raquel. *SE_MTF PLUG IN*. En línia: <http://rsb.info.nih.gov/ij/plugins/se-mtf/index.html> (consulta 24/07/08).
- RAY, Sidney F. (1994) *APPLIED PHOTOGRAPHIC OPTICS*. Ed. Focal Press, London.
- SEUL, M., O'GORMAN, L. i SAMMON, M. J. (2000) *PRACTICAL ALGORITHMS FOR IMAGE ANALYSIS*. Ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- STAWOWCZYK, Andrew (1999) *OPTIONS AND PREFERENCES FOR COLLECTION DIGITISATION*. Technical Subgroup of the Pictorial Digitisation Review Group. En línia:

- <http://74.125.39.104/search?q=cache:zaa3AFi4ZPgJ:kinetica.nla.gov.au/photos/docs/report.pdf>
(consulta 24/07/08).
9. VVAA. *DIGITAL IMAGE PROCESSING JAVA TUTORIALS. MOLECULAR EXPRESSIONS*. En línea:
<http://www.micro.magnet.fsu.edu/primer/digitalimaging/javaindex.html> (consulta 24/07/08).
 10. WILLIAMS, Don & BURNS, Peter. D. (2001) *DIAGNOSTICS FOR DIGITAL CAPTURE USING MTF*. Proc. IS&T 2001 PICS Conference, pg. 227-232. En línea:
<http://imagescienceassociates.com/pubs/31pics2001williamsburns.pdf> (consulta 24/07/08).
 11. WILLIAMS, Don (2000) *SELECTING A SCANNER*. Digital Library Federation. En línea:
<http://www.diglib.org/pubs/dlf091/dlf091.htm> (consulta 24/07/08).

AGRAÏMENTS

Els autors agraeixen el suport de la Fundació Universitat Politècnica de Catalunya.