

Col·lecció «Humanitats»
e-Humanitats, 2

EL ANÁLISIS DE LA IMAGEN FOTOGRAFICA

RAFAEL LÓPEZ LITA
JAVIER MARZAL FELICI
FCO. JAVIER GÓMEZ TARÍN
(EDITORES)



EVOLUCIÓN DE LA IMAGEN DIGITAL: DEL FORMATO FOTOGRÁFICO JPEG, AL MPEG4

JOSÉ LUIS GARRALÓN VELASCO

Universidad de Extremadura

INTRODUCCIÓN

Desde siempre, los fotógrafos se han encontrado en la necesidad de enviar sus fotografías de la manera más rápida y segura posible. Pasado el tiempo del pony-express o de los correos a caballo, una vez que el telégrafo primero y la radio después permitieron enviar la palabra a cualquier punto del globo de manera casi instantánea, los fotógrafos se encontraron en franca desventaja, pues sus obras tenían que continuar viajando torpe y lentamente por carretera, por ferrocarril e incluso por el también lentísimo método del transporte aéreo. En las redacciones de los periódicos, las ediciones hubieran tenido que cerrarse sin el documento gráfico, sin el enriquecimiento de la imagen visual que le añadiera los matices de inteligibilidad y datos adicionales que precisaba la crónica lejana. Por suerte, se contaba con el servicio de telefotografía, que conseguía facsímiles analógicos de los originales, mediante el escaneo de la fotografía y su conversión en valores eléctricos variables.

Mas, en el último tercio de la década de los ochenta del siglo xx, las técnicas digitales irrumpen en el panorama del mercado de la imagen. Convertir una fotografía en un archivo informático predice la posibilidad de enviar el documento por la incipiente red de redes, de manera casi instantánea. Pero a los sistemas de digitalización se añan, indefectiblemente, los de compresión. Hay que conseguir que esos archivos tengan un tamaño –«peso» en el lenguaje informático– acorde con las líneas de transmisión, con los anchos de banda.

En 1987, la empresa CompuServe desarrolla el formato gráfico GIF (*Graphics Interchange Format*), para el intercambio de imágenes a través de la red. Casi al mismo tiempo, el grupo Joint Photographic Expert Group sale a la red con su famoso algoritmo, que permite el proceso, archivo

y transmisión de fotografías fuertemente comprimidas y con una más que notable calidad y sobre el que se ha basado después todo el revolucionario mundo de la imagen digital estática y en movimiento. Hoy, el vídeo y la televisión digitales, la transmisión por Internet o los canales temáticos vía satélite, por poner un ejemplo, no serían lo que son sin el empeño de este grupo que desde el principio se propuso dar soluciones en vez de perderse en discusiones teóricas. La presente comunicación pretende un rápido repaso por el desarrollo de las tecnologías de digitalización y compresión de la imagen estática y en movimiento.

LA FISIOLÓGÍA AL SERVICIO DE LA TECNOLOGÍA

Pudiera parecer que todo estuviera calculado o diseñado para conseguir los resultados que el hombre tiene en su poder; porque, si nos paramos a pensar, es del todo paradójico que los mayores descubrimientos en el campo de la imagen audiovisual, aquellos desarrollos tecnológicos que nos permiten disfrutar del cine, de la televisión o de la televisión en color, descansen profundamente en errores fisiológicos de nuestro sentido de la vista. Si el ojo humano no fuera tan imperfecto, si no fuera tan perezoso como para mantener durante una fracción de tiempo la imagen en la retina antes de hacerla desaparecer, no seríamos capaces de disfrutar de la magia del cine, que no es otra cosa que un engaño a nuestra inteligencia visual. Si los conos y bastones no abrieran su campo de visión en arco sino que, como parece que debiera ser, se estimularan en el exclusivo plano de su visión, no integraríamos las imágenes inmediatamente juntas interpretándolas como una sola, con lo que el engaño de la televisión que representa por líneas la presunta realidad, se haría imposible o la yuxtaposición de los colores primarios se vería como una pixelización de rojos, verdes y azules y nunca como una sinfonía de tonos, tal y como descubrieran y experimentaran ya los impresionistas franceses.

Esta pobreza visual, estos errores que está cometiendo constantemente nuestra vista, se convierten en serios aliados también para la codificación, archivo y transmisión de imágenes digitales. Porque nos per-

miten algo tan importante como prescindir de parte de la imagen original en su reproducción electrónica... sin que el ojo se percate de ello. En definitiva, nos permiten engañar al ojo, hacerle un guiño a la estafa visual, escamotear información. Somos estafadores, trileros de la imagen. Y nos enorgullecemos de ello.

El ojo humano es muy impreciso. Sobre todo en la percepción del color. Tanto, que con darle unas ligeras pinceladas, se cree que lo tiene todo e interpreta magníficamente aquello que se le muestra. Esto es sabido por los ingenieros diseñadores de los sistemas de transmisión del color. Sabemos que nuestro sistema visual es más sensible a la luminancia de unas frecuencias lumínicas que otras, de manera que para percibir una tonalidad blanca no es preciso recibir todo el brillo de los tres colores básicos, sino tan solo una fracción del mismo, concretamente un 30 por ciento de rojo, un 59 por ciento de verde y un 11 por ciento de azul. Mezclando estas proporciones, el ojo interpretará blanco. Esta propiedad –no sé si llamarla también defecto de visión– permite el truco de aprovechar al máximo el ancho de banda de una red, transmitiendo tan solo la luminancia completa de una imagen... y tan solo dos de sus colores. El verde no se transmite, se obvia, con lo que ya estamos descargando de información el motivo a enviar. Éste será calculado por el sistema mediante matrización, pues calculará las luminancias de los colores por separado y rellenará aquello que le falta.

Éste es el primer ejemplo de manipulación de imagen para conseguir el ahorro en el envío de datos. Pero esta manipulación es estrictamente analógica y no explica otras que se refieren a la fotografía digital primero, al vídeo como consecuencia lógica después.

DIGITALIZAR: CAMBIAR DE CÓDIGO

En la más rancia y clásica definición del proceso de comunicación, nos encontramos con los viejos amigos de mensaje, canal y código. Para que el mensaje sea comprensible, tanto el emisor como el receptor deben conocer y comprender el mismo código. Ahora bien, una fotografía

es una superficie con miles, quizá millones de matices de color, tramas, sombras, tonos de gris... Tomemos una imagen en blanco y negro y cuadriculémosla, es decir, convirtámosla en una parrilla de puntos, y a cada uno de ellos démosle un valor numérico. Está claro que el resultado será el de varios cientos al menos de valores distintos, desde el cero del negro, hasta el uno del blanco, pasando por todas las fracciones posibles de los grises intermedios. La cosa se complicará más si la fotografía es en color. Los valores numéricos se multiplicarán hasta llegar a ser millones. Todos ellos distintos.

¿Qué pasa si queremos alimentar con esos datos una máquina, un ordenador? Simplemente, no podemos. Es imposible. Porque un ordenador no entiende ese lenguaje. Un ordenador, que en el fondo no es más que un inmenso laberinto de corredores con puertas que se abren y se cierran, sí y no, abierto y cerrado, tan solo conoce dos cifras, dos números: uno y cero. No puedes alimentarlo con otros valores distintos a éstos. Es imprescindible convertir toda esa información numérica en una sucesión ordenada de ceros y unos que represente aquella imagen analógica, de manera que la máquina lo entienda. Eso es la digitalización: la conversión a lenguaje binario de un documento analógico.

Un archivo de imagen, una fotografía digitalizada, un vídeo digital, no es ni una fotografía, ni un vídeo. Es un archivo, un documento informático. Cuando digitalizamos una imagen, estamos creando una sucesión de ceros y unos que para nosotros resulta totalmente incomprendible, totalmente críptica, pero que el ordenador entiende perfectamente. De hecho, no es posible «ver» una imagen en su estado digital. Cuando visionamos en el monitor, el sistema hace una reinterpretación analógica del archivo digital.

EL MUESTREO

Y es en ese archivo, en ese proceso de digitalización, donde podemos manipular a nuestro antojo para conseguir resultados coherentemente dimensionados y visualmente decentes. El muestreo consistirá en

hacer un mapa de la imagen, de la fotografía, en forma de cuadrícula, en el que cada una de esas cuadrículas –píxels– tendrá asignado un valor tonal, sea blanco, negro, en un matiz de gris o color. Evidentemente, a mayor número de píxels –es decir, a mayor muestreo– la imagen digitalizada ganará en similitud con respecto a su modelo original.

Cada píxel está representado por un código binario que es almacenado por el ordenador como una secuencia. Y según sea la naturaleza del píxel y lo que queramos conseguir de él, ese muestreo será más o menos profundo. Así, una imagen en blanco y negro podrá tener una profundidad de tan sólo dos bits de información: un bit para el blanco y uno para el negro, mientras que la escala de grises puede ser muestreada entre dos y ocho bits y una imagen en color puede presentar una profundidad de muestreo que vaya desde los ocho hasta los 24 bits (en ocasiones, se supera esta frecuencia de muestreo). Obviamente, cuanto mayor sea la frecuencia de muestreo, más rica será la imagen en matices de color o brillo.

1 bit (2 ¹) = 2 tonos
2 bits (2 ²) = 4 tonos
3 bits (2 ³) = 8 tonos
4 bits (2 ⁴) = 16 tonos
8 bits (2 ⁸) = 256 tonos
16 bits (2 ¹⁶) = 65.536 tonos

LA RESOLUCIÓN

Es evidente que cuantos más bits utilicemos para muestrear un píxel, mejor será la calidad de la imagen digitalizada. Pero es también evidente que cuantos más píxels muestreemos, mejor será la resolución de la imagen. O, dicho de otro modo, cuanto más fina sea la «rejilla» en la que convirtamos la imagen, mayor será la capacidad de detectar los detalles más finos.

Por lo general, la frecuencia espacial a la cual se realiza la muestra de una imagen digital (la frecuencia de muestreo) es un buen indicador de su resolución. Éste es el motivo por el cual «puntos por pulgada» (*dots per inch-dpi*) o «píxels por pulgada» (*pixels per inch-ppi*) son los términos comúnmente utilizados para expresar la resolución de imágenes digitales. Cuando esta resolución es muy baja, la imagen puede aparecer «pixelizada», con una cuadrícula demasiado grande y una definición muy pobre.

Se puede calcular el tamaño del píxel de una imagen, sabiendo sus dimensiones espaciales y el número de *ppi* con el que la vamos a muestrear. O, viceversa, si conocemos las medidas del documento y a cuántos píxeles se escanea de ancho y de largo, podremos calcular muy fácilmente su *ppi* (o *dpi*). Este dato resultará especialmente útil para saber el muestreo ideal para el documento, en función de su destino final. Para ser visionado en una pantalla, dadas las propias características de la señal de vídeo, no es necesario trabajar a más de 720x576 píxeles, a una resolución de 72 *ppi*. Más allá de esto, se está haciendo un dispendio, un gasto totalmente innecesario.

LA COMPRESIÓN

Aquí es donde empezamos a jugar con nuestros sentidos. Aquí es donde resumimos todos los factores antes descritos y empezamos a dar forma a la estafa.

Recapitulemos. Una fotografía en color, de 15 x 10 centímetros, muestreada a 24 bits por píxel y a 200 píxeles por pulgada, ocuparía lo inconcebible:

$15 \div 2,54 = 5,9$
 $10 \div 2,54 = 3,9$

Atendiendo a la fórmula
(ancho x alto x prof. de bits) X dpi²...

$(5,9 \times 3,9 \times 24) \times 200^2 =$
 $552,24 \times 40.000 = 22.089.600 \text{ bits}$
 $22.089.600 \div 8 = 2.761.200 \text{ Bytes}$

Una fotografía de 15 X 10, digitalizada a 200 ppi,
ocuparía un archivo de más de dos gigabytes de volumen.

Éste fue el problema con el que se encontraron los ingenieros informáticos a la luz de las necesidades de los fotógrafos. Y la forma que tuvieron de resolverlo fue mediante el proceso de compresión, es decir, de «adelgazar» de forma artificial los archivos. Ahora bien, sólo hay una forma de comprimir un archivo: quitándole información, restándole datos; haciéndolo, en suma, más pobre. O, dicho de otro modo, dejando zonas, espacios o fragmentos del documento original sin copiar digitalmente. Engañando al cliente. Engañando al ojo.

Comprimir consiste en seleccionar tan solo determinadas partes del documento, rechazando otras. De manera que, al comprimir estamos introduciendo, indefectiblemente, el concepto de muestreo, pues tomamos muestras, fragmentos de la realidad a clonar. Y junto al muestreo, la cuantificación, que viene referida directamente por el código binario que estamos utilizando.²⁷² Así, la cifra más alta que podemos representar en dicho código, mediante la fórmula $Q_m = 2^n - 1$, donde n es el número de bits utilizado, será de 255 ($2^n - 1 = Q_m$; $2^8 - 1 = 255$).

Ahora bien, ¿qué información vamos a rechazar? ¿Qué vamos a dejar en la cuneta, al borde del camino? Aquí es donde entra en juego la percepción psicovisual. Porque en las técnicas de compresión de la imagen fotográfica, se trata de eliminar todo aquello de lo que no se vaya

272. Bit es la contracción de *binari* y *digit* y se refiere a la pareja de dígitos 0-1.

a percatar el ojo humano. Todo aquello cuya desaparición no afecte a su visionado, a su inteligibilidad. En este terreno, debemos señalar una diferenciación entre compresión sin pérdidas y compresión con pérdidas, y, dentro de este último, compresión con pérdidas no perceptivas y compresión con pérdidas perceptivas.

Compresión sin pérdidas

En muchas ocasiones, tenemos que registrar, archivar o transmitir documentos de texto que ocupan un considerable espacio. Nos conviene digitalizarlos de manera que, al redimensionarlos, es decir, al descomprimirlos, no nos encontremos con que les faltan datos. Así, nace un tipo de compresión que simplemente abrevia el código binario sin desechar información. Es el caso típico de los documentos en *zip*, que son comprimidos y, después, al ser restaurados, no han perdido absolutamente nada con respecto al original. ¡Imagínemos qué sucedería si en un documento de texto eliminamos las «aes» para que ocupe menos espacio!²⁷³

Compresión con pérdidas

Es la única que se utiliza para la manipulación de imágenes audiovisuales. Se trata de seleccionar qué imágenes o partes de ellas van a ser sacrificadas. Y, aunque no lo parezca, antes de tocar el motivo principal de la fotografía –o el vídeo en su caso– hay mucho material que ocupa un precioso espacio en el disco duro y que no afecta para nada a la imagen principal.

273. Hay que tener en cuenta que cada elemento que se retira en el proceso de digitalización o compresión, simplemente desaparece del documento. No vuelve, por tanto, a ser restaurado, puesto que no existe ya.

Por ejemplo, el «ruido», todo aquel polvo, rascadura, mala definición, grano excesivo que presenta el original, puede ser eliminado de su clónico, llegando incluso a mejorarlo con respecto al original...

Las técnicas de compresión con pérdidas pueden ser muy cuidadosas en desechar información que no afecte a la calidad final de la copia, esto es, que no se distinga de la realidad de la que parte... Es la *compresión con pérdidas no perceptiva*. En ella el ojo humano no distingue el original de su clónico virtual.

Pero en ocasiones esta calidad no puede ser posible... o no conviene que lo sea. Y en esas situaciones es cuando podemos hablar de la *compresión con pérdidas perceptiva*, porque en ella el ojo es perfectamente consciente de que se le hurta información. El primer y más claro ejemplo es el cambio de tamaño. Evidentemente, cuanto más pequeño sea el nuevo documento con respecto del original, menor será el archivo generado. Pero hay más: reducción del rango dinámico, eliminación de información redundante, reducción del número de colores..., todas las técnicas, únicas o combinadas, son buenas para el propósito deseado.

Redundancia y entropía

Son estos términos fundamentales en el camino de la compresión con pérdidas, si queremos acercarnos al original. Una imagen visual analógica tiene una gran cantidad de información que se repite a sí misma, sin aportar elementos significativos al decodificador. Si se elimina de los datos, la información no se ve alterada. A esta repetición la llamaremos *redundancia*. Es, por ejemplo, todo el tono azul del cielo de un paisaje. Hay cientos de píxels virtualmente iguales, con el mismo color, la misma tonalidad. No es necesario, pues, digitalizar toda esa área. Con tomar una muestra y decirle a la máquina cuántos píxels más tendrá que repetir en el proceso de recompresión y en qué coordenadas espaciales... imaginemos la cantidad de información que nos habremos ahorrado en el documento digital a archivar.

El formato JPEG para fotografía, resolvió de manera inteligente el problema del peso del archivo digital, pues estableció una ratio de compresión variable. Partiendo de una profundidad de 24 bits en color o de 8 bits en escala de grises, es el usuario el que elige la calidad final del clon, con lo que decide, evidentemente, la compresión del archivo. En función de lo que quiera sacrificar, conseguirá resultados de hasta compresiones que lleguen a proporciones de 100:1 e incluso superiores.



Máxima redundancia,
mínima entropía



Ruido aleatorio. Máxima entropía.
No hay apenas redundancia

DE LA FOTOGRAFÍA AL VÍDEO, DE JPEG A MPEG, PASANDO POR MJPEG

Ensalada de siglas, ya lo sé. Pero ha sido así... se ha movido en torno a estas siglas que, por cierto, incluso han ido cambiando su significado. Es en 1988 cuando Leonardo Chiariglione, responsable máximo del CCIR, que fuera encargado del desarrollo de un sistema de televisión de alta definición, contacta con el director de JPEG, Hiroshi Yoshuda y le propone el desarrollo de un estándar de codificación de imágenes en movimiento.

La primera solución es la más sencilla... y la que todavía hoy se sigue utilizando para la edición de imágenes en movimiento. Y es la conocida como MJPEG que, como se ve, su formulación es tan simple como añadir la M de *motion* (película, imagen en movimiento) a las siglas ya conocidas. Mas MJPEG no se puede considerar como un estándar de compresión de imágenes en movimiento, pues trabaja con *frames* estáticos. El formato trata cada cuadro de vídeo como una fotografía estanca, independiente de la anterior y la posterior. Trabaja, eso sí, en bloques de 8 x 8 píxels, bajo el algoritmo llamado de Transformada Directa de Coseno (DCT). Pero sus archivos son de un gran volumen, pues comprime cada cuadro de vídeo de manera independiente, analizando crominancia y luminancia como si fueran fotografías. Y ya sabemos qué cantidad de «fotografías» aporta un solo segundo de vídeo: 25 en el sistema europeo, 30 si hablamos del sistema americano.

Codificación *interframe*. Prediciendo el futuro

El vídeo es una sucesión en el tiempo. Ése es el secreto, ésa es la gran baza a jugar. No nos movemos en dos dimensiones –el alto y ancho del fotograma– sino en tres. La tercera es la evolución del movimiento a lo largo del tiempo. Esa dimensión temporal hace que los cuadros de un vídeo discrepen muy poco unos de otros. En definitiva, que los *frames* consecutivos sean muy redundantes entre sí, tengan mucha superficie común.

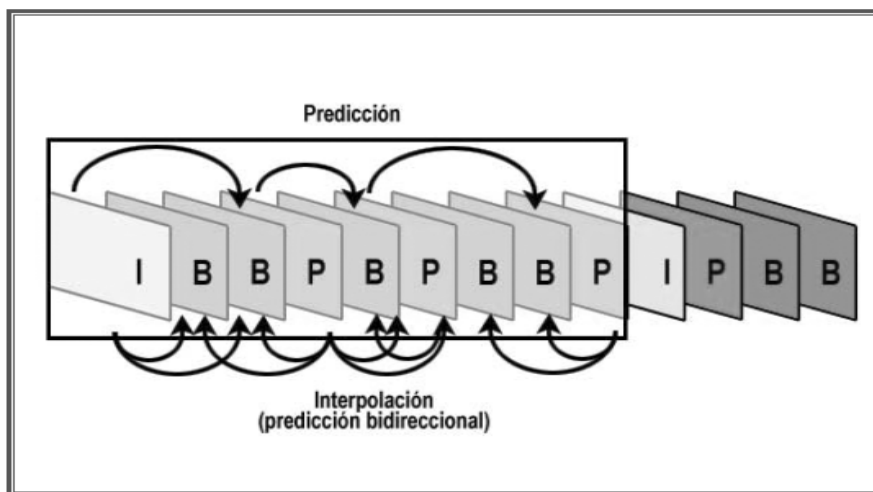
El formato MPEG –ya las siglas han cambiado de significado y su anagrama corresponde a *Motion Picture Expert Group*– consiste en agrupar los cuadros de vídeo en paquetes o «trenes» que tienen una locomotora y un número determinado de vagones, y aprovechar la redundancia existente entre los frames colindantes, de manera que tan solo codifica la diferencia que existe entre un frame y su inmediato anterior... o su inmediato posterior, como veremos.

La locomotora será el primer *frame* del grupo (GOP), codificado íntegramente, como si fuera un JPEG (*intraframe*), creando una referencia

(cuadro I). A partir de ahí, el algoritmo compara los siguientes cuadros con éste (*keyframe*), codificando tan solo las diferencias encontradas (cuadros B). Así, los GOP de 6, 8 o 10 cuadros irán encabezados por un cuadro I (*intraframe*) y varios cuadros B.

Cuando el sistema encuentra un «salto» (cambio brusco de escena) introduce un cuadro I, iniciando un nuevo GOP. Pero los GOP disponen de otro tipo de frames codificados que tienen un muy alto índice de compresión: son los llamados *frames* P que predicen el movimiento. Son *frames* que se crean en función de la redundancia con el *frame* anterior, y en predicción del movimiento que ha de venir. De esta manera, el sistema consigue índices de compresión realmente altos. En definitiva, la magia al servicio de la tecnología, al tratarse de un sistema de predicción bidireccional.

Por esta razón, los sistemas de compresión interframe trabajan peor cuanto mayor sea el índice de entropía de la imagen. Siempre serán más precisos cuanto más estáticas sean las imágenes a tratar, por cuanto menos errará en sus predicciones y, por tanto, en la creación de esos *frames* P.



GOP de 9 cuadros con *frames* B y *frames* predictivos P

Los formatos MPEG.

MPEG-1

Fue el primero en desarrollarse y nació con el objetivo de leer discos compactos con imágenes en movimiento a una tasa cercana a 1,5 Mbps. Sus características más sobresalientes se pueden resumir en lo siguiente:

- Tamaño máximo del cuadro: 352 x 288 píxels a 25 *frames* por segundo.
- Bit rate de 1,6 Mbps en muestreo 4:2:0
- Tratamiento progresivo de la imagen de vídeo (no la trata como vídeo entrelazado).
- Calidad similar a VHS.
- Imágenes IPB.
- Su uso principal es la codificación para almacenamiento de vídeo, CD-i, CD-Rom, Internet, etc.

MPEG-2

Es el auténtico estándar de transmisión de televisión de calidad broadcast. Respeto la norma 4:2:2 (ITU-R BT 601) de cuadruplicar el muestreo de la señal de croma y duplicar el muestreo de cada una de las señales diferencia de color.

- Transmisión de señal de TV y HDTV, DVD, etc.
- Soporta tanto vídeo progresivo como entrelazado.
- Imágenes IPB.
- Su calidad es escalable. Trabaja desde una calidad aparente PAL, con una tasa de transferencia de 4 Mbps, hasta la alta definición (HDTV), que alcanza los 36 Mbps, pasando por la calidad transparente (4:2:2) con un bit rate entre 9 y 10 Mbps.
- Puede trabajar con varias capas de vídeo simultáneas.

MPEG-4

Es la auténtica revolución en los sistemas multimedia e interactivos, donde el lenguaje hombre-máquina se hace cada vez más imperativo. Siempre partiendo de la codificación, digitalización y compresión de imágenes visuales y auditivas, el formato MPEG-4 no es estrictamente una norma de codificación de vídeo, sino una completa herramienta de manipulación digital interactiva de la información audiovisual, diseñada para los tres elementos fundamentales que intervienen en la cadena comunicacional: los creadores de contenidos, los proveedores de servicios y redes y los usuarios finales.

a) Datos técnicos de *MPEG-4*:

- Ancho de banda muy bajo: de 5 a 10 Mbps.
- Resolución de vídeo que llega hasta la TV de alta definición.
- Pausa, rebobinado rápido hacia delante y hacia atrás, con todos los objetos sincronizados.
- Compresión espacial y temporal de textos y gráficos en 2D, 3D y animaciones.
- Trata por igual objetos naturales que objetos sintéticos (imágenes creadas por ordenador).
- Audio escalable desde calidad telefónica (4 KHz.) a calidad CD (44.1 KHz.).

b) *MPEG-4* Para los creadores de contenidos

- Integra elementos de TV digital, gráficos animados, www, fotos, texto, etc.
- Excelente protección de partes o totalidad del contenido.
- Posibilidad de re-utilización de los contenidos, en parte o en su totalidad.
- Posibilidad de fragmentar el contenido en «objetos», de modo que la interacción del usuario final dependerá de ese grado de fragmentación.

- La clave de la eficiencia de MPEG-4 reside en cómo se cree el contenido en origen.

c) MPEG-4 para proveedores de servicios y redes

- Define el encapsulamiento de cada tipo de objeto para su transmisión a través de redes.
- Cada tipo de objeto se codifica sobre la base de normas ya existentes (vídeo en H.263 o MPEG-2, texto en HTML, fotos en JPEG o GIF...)
- Cada objeto puede transmitirse por redes de distinto ancho de banda consiguiendo hasta un 50% más de eficiencia final que trabajando con audio y vídeo comprimidos en MPEG-2.

d) MPEG-4 para usuarios finales

- Total interacción con el contenido hasta el límite definido por el autor (cambiar fondos de imágenes, color en textos sobreimpresos, recibir sólo el audio y fotos fijas de una película en terminales móviles...)
- Nuevas aplicaciones sobre contenidos multimedia más allá de la pura recepción de TV digital (para eso ya existe MPEG-2).
- MPEG-4 precisa una plataforma de usuario con capacidad de proceso (un PC), aunque ya se ven en el mercado de consumo reproductores DVD con capacidad para leer archivos DivX que, en definitiva, utilizan el formato MPEG-4.

Vemos, pues, cómo ha evolucionado la tecnología al servicio de la imagen audiovisual. Este trabajo se ha centrado en lo puramente visual, pero en el audio ha sucedido una evolución parecida, con los mismos y espectaculares resultados. Se trata, en suma, de abaratar costes en la manipulación de las imágenes. Atrás quedaron los tiempos en los que la calidad de la imagen se medía por su ancho de banda o su resolución horizontal. Hoy, la economía es la que dicta sus normas y hemos pasado—en un gran porcentaje de casos y empresas—de la calidad broadcast a la

calidad teledifusiva aparente. Es el ojo el auténtico equipo de medida. Incluso éste se sacrifica en ocasiones... Los servicios informativos han rebajado sus estándares de calidad de la imagen, en pro de una rapidez en sus procesos de producción, postproducción y emisión. Las televisiones autonómicas y locales no acuden ya a los grandes formatos, sino que trabajan con formatos digitales en compresiones 4:2:0 o 4:1:1, y transferencias de 25 Mbps... El MPEG-2 editable está entrando con fuerza y el año próximo lo veremos como la «estrella» de las ferias profesionales... aún sabiendo que es muy destructivo en comparación con el ya viejo y fiable MJPEG. Pero, qué quieren... es el bolsillo y no el afán por ofrecer la mejor de las imágenes lo que prima.

BIBLIOGRAFÍA

- BENOIT, Hervé (1998): *Televisión digital*, Madrid, Paraninfo.
- BETHENCOURT, Tomás (1991): *Sistemas de televisión. Clásicos y avanzados*, Madrid, IORTV.
- BUSTAMANTE, E. Y ALVÁREZ, J. M. (1999): *Presente y futuro de la televisión digital*, Madrid, Edipo, Colección «Comunicación 2000».
- FERNÁNDEZ CASADO, J. L. Y NOHALES ESCRIBANO, T. (1999): *Postproducción digital. Cine y vídeo no lineal*, Andoain, Escuela de Cine y Vídeo.
- HARTWIG, Robert L. (2000): *Basic Television Technology Digital and Analog*, Oxford, Focal Press.
- LLORENS, V. (1995): *Fundamentos tecnológicos del vídeo y de la televisión*, Barcelona, Paidós.
- MARTINEZ ABADIA, José (1997): *Introducción a la tecnología audiovisual*, Barcelona, Paidós.
- MORENO, Isidro (1998): «Televisión digital ¿interactiva?» en PEÑA TIMÓN, V. (coord.), *Comunicación audiovisual y nuevas tecnologías*. Málaga, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga.

-
- PÉREZ DE SILVA, Javier (2000): *La televisión ha muerto. La producción audiovisual en la era de Internet: la tercera revolución industrial*. Barcelona, Gedisa.
- PÉREZ HERRERO, S. (2002): *Televisión digital*, Sevilla, Mergablum, Edición y Comunicación.
- SYMES, Peter D. (1998): *Video Compression*, Londres, McGraw-Hill.
- VV. AA. (1997): *Vídeo digital: la solución global*, Madrid, IORTV.
- WATKINSON, John (1996): *Compresión en vídeo y audio*, Madrid, IORTV.