

# LA TELEVISIÓ DIGITAL TERRESTRE: UN COLOR MILLOR... I ALGUNS GRISOS

**Jordi Berenguer**

Universitat Politècnica de Catalunya

El 3 d'abril de 2010 es va produir la fi de les emissions de televisió analògica a l'Estat espanyol. És el que es coneix com l'*apagada analògica*. De llavors ençà s'inicià una nova etapa en la radiodifusió de la televisió fent ús d'un nou sistema de senyals i modulacions digitals que és el que anomenem *televisió digital terrestre* o TDT. Es posava fi a una etapa d'emissions regulars de televisió analògica que a l'Estat havien començat el 1956, tot i que les primeres proves es van fer a Barcelona a la Fira de Mostres del 1948. Una etapa que sempre es va caracteritzar per garantir la compatibilitat amb els receptors existents del senyal de televisió, quan aquests anaven incorporant al llarg dels anys millores tecnològiques com ara el color o el so digital.

## 1. Què és la televisió?

Per televisió entenem la transmissió a distància d'imatges en moviment per un medi de transmissió. Aquest fet fa necessari que les imatges a transmetre s'hagin d'explorar de manera seqüencial ja que no podem transmetre cap imatge tota de cop pel medi de transmissió, a diferència del que sí que fa el cinema, en el qual cada imatge, el fotograma, es projecta tota de cop a la pantalla sense cap exploració prèvia.

La qüestió següent és com podem explorar una seqüència d'imatges. Per entendre-ho podem partir d'una fotografia en blanc i negre (figura 1); com que és un objecte bidimensional, caldrà establir un sistema de coordenades i assignar a cada punt de la imatge un nivell de gris, de manera que la imatge la podríem representar com una matriu de dimensió  $n \times m$ , on el valor dels seus elements seria el seu nivell de gris. La dimensió de la matriu es correspondrà, doncs, amb la resolució de la imatge, i la definició de la imatge dependrà del nombre de valors que utilitzem per codificar el nivell de grisos, és a dir, l'escala que va del blanc al negre. Si la imatge és en color, llavors tindrem un nivell de dificultat addicional, ja que per cada punt de la imatge haurem d'obtenir els tres components de color, vermell, verd i blau (RGB en anglès), que formen el color del punt. Aquest seria el procediment que realitza un escàner en digitalitzar una imatge fixa.

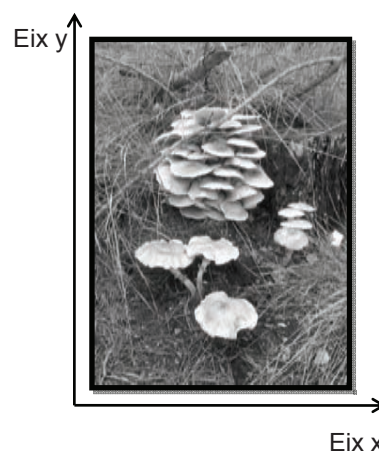


FIGURA 1. Exemple d'exploració d'una imatge bidimensional.

En el cas de la televisió, aquesta exploració l'haurem de fer de manera continuada i seqüencial i a una certa velocitat ja que l'haurem de transmetre per un mitjà de transmissió i en el receptor s'haurà de realitzar el procés invers de reconstrucció de la seqüència d'imatges, de manera que el destinatari tingui la «sensació» de percebre imatges en moviment (figura 2).

D'aquest sistema d'exploració es deriva el senyal de vídeo compost (figura 3), que a més de la informació de luminància incorpora els polsos de sincronisme de línia i de quadre. Aquest sistema de transmissió va ser estandarditzat el 1961 en la European Broadcasting Conference in the VHF and UHF Bands [1], organitzada pel Comitè Consultiu Internacional de Ràdio (CCIR) de la Unió Internacional de Telecomunicacions (UIT), amb la denominació de CCIR-B/G, i és el que es va adoptar a l'Estat espanyol per a la radiodifusió de televisió en les bandes de VHF (*very high frequency*) (B) i UHF (*ultra high frequency*) (G), respectivament.

En aquest estàndard, s'hi va arribar després d'un llarg procés en el qual es van tenir en consideració multitud d'aspectes, especialment fisiològics. Per entendre com es resol la «percepció» del moviment, cal conèixer el funcionament de l'ull humà, que en definitiva és el «receptor» de la informació que transmetrem.

La llum penetra en el globus ocular a través de la còrnia i de l'iris, que actua a manera de diafragma regulant el pas de llum; el cristal·lí, que actua a manera de lent,

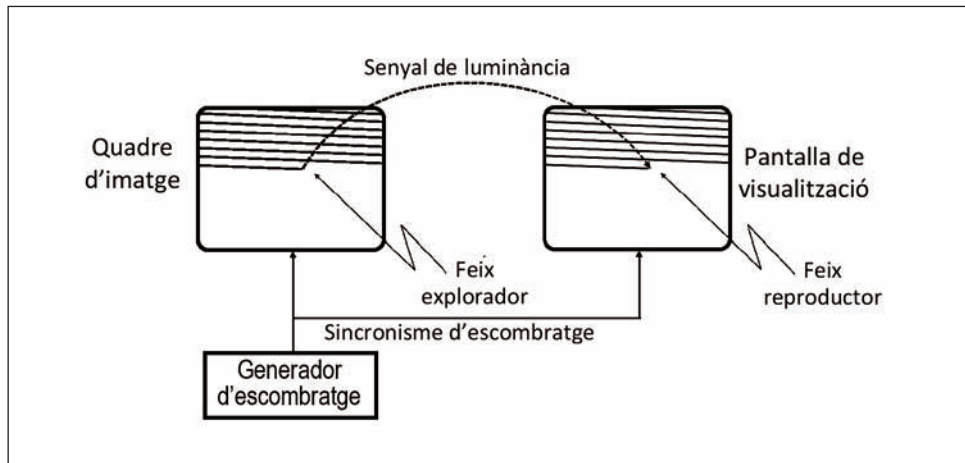


FIGURA 2. Sistema seqüencial d'exploració d'una imatge de televisió analògica.

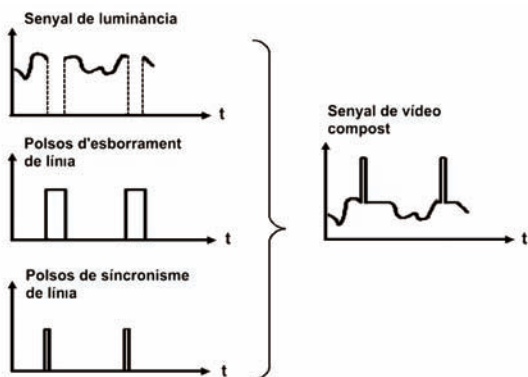


FIGURA 3. Generació del senyal de vídeo compost, format pel senyal de luminància, més els pulsos de sincronismes de línia i de camp.

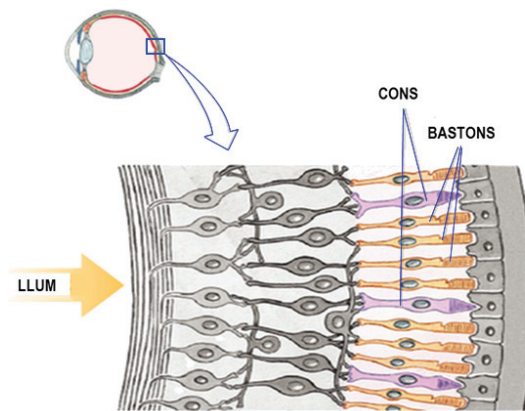


FIGURA 5. Estructura de la retina. Cons i bastons.

projecta la imatge sobre la retina, situada en el fons del globus ocular, la qual està connectada al nervi òptic (figura 4). La retina està composta de dos tipus de cèl·lules (figura 5): els bastons, que són sensibles només a la intensitat de llum (blanc i negre) i dels quals n'hi ha uns cent vint milions, i els cons, que són sensibles només al color, i dels quals n'hi ha menys, uns set milions. Per aquest motiu, la percepció dels colors requereix un nivell de lluminositat més elevat, ja que l'ull humà és més sensible als grisos. La connexió de la retina amb el nervi òptic facilita la transmissió de la informació cap al cervell, l'òrgan en el qual es forma la imatge. El camp de visió és de tipus rectangular, fet que facilita la musculatura facial, que permet uns moviments més ràpids de l'ull en sentit horitzontal que en vertical.

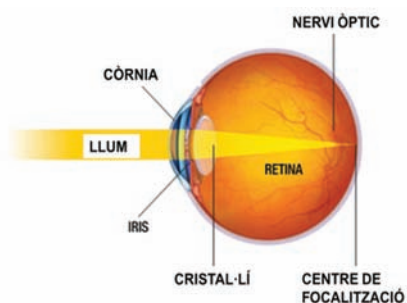


FIGURA 4. Fisiologia del globus ocular humà.

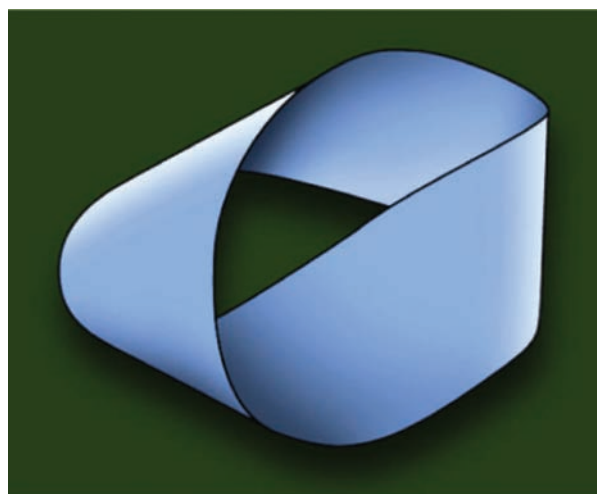


FIGURA 6. Corba de Möbius.



FIGURA 7. Exemple d'imatge que provoca l'efecte *trompe-l'œil*.

Tots aquests efectes van ser tinguts en compte a l'hora de dissenyar els diferents sistemes de percepció de moviment a partir d'imatges estàtiques, però el més important, i que és el fonament del cinema i de la televisió, és el fenomen que es coneix com a *persistència visual* o *retiniana* (POV: *persistence of vision*), que va ser descoberta per Joseph-Antoine Ferdinand Plateau [2], per la qual una imatge es manté a la retina una dècima de segon després d'haver desaparegut l'estímul, o, el que és el mateix, que la visió és el resultat de la formació en el cervell d'una concatenació d'imatges fixes amb una cadència de 10 imatges per segon.

El cinema va aprofitar aquest efecte projectant fotogrames a una velocitat de 24 imatges per segon. Tot i així es va comprovar que per millorar la qualitat de la visió era necessari intercalar entre fotograma i fotograma un temps de pantalla negra per tal que a la retina no li arribés cap imatge mentre s'esvaïa l'anterior. Per fer-ho es va dissenyar un obturador mecànic de tipus rotatiu (figura 8), que tapava la projecció de la imatge a una velocitat de 48 obturacions per segon, és a dir, el doble de la velocitat de projecció dels fotogrames.

En el cas de la televisió, també es realitza un procediment semblant, encara que molt diferent. És el que es coneix com a *entrellaçat* (figura 9). Consisteix a explorar i transmetre la mateixa imatge dues vegades. En l'estàndard europeu de televisió [1] CCIR-B/G, cada imatge, que s'ano-

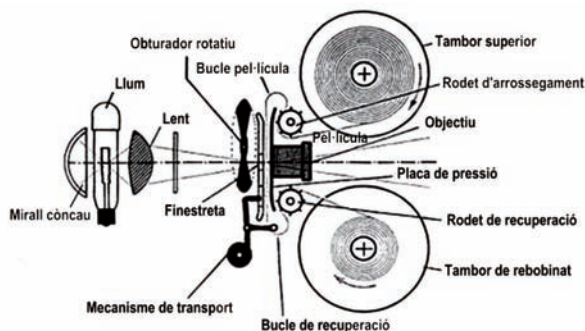


FIGURA 8. Esquema d'un projector de cinema en el qual s'observa la funció de l'obturador que bloqueja la projecció 48 cops per segon.

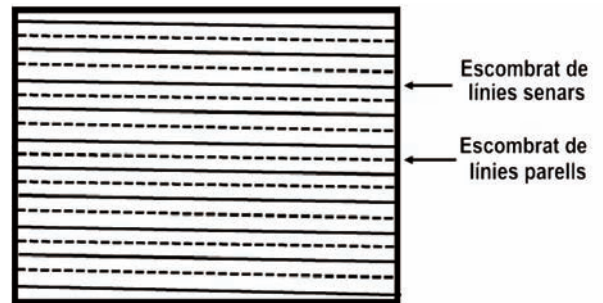


FIGURA 9. Entrellaçat en televisió. Cada imatge (quadre) s'explora seqüencialment en dos camps, un dels quals correspon a les línies senars i l'altre correspon a les línies parells.

mena *quadre*, s'explora en un total de 625 línies que van d'esquerra a dreta, però aquesta exploració no es fa de manera continuada, sinó que es fa en dues etapes, primer s'escombraren les línies parells, i després les línies senars; a les imatges resultants de cadascuna d'aquestes exploracions se les anomena *camp*, i a Europa la velocitat d'exploració era de 25 imatges per segon, de manera que la freqüència resultant de l'exploració d'una imatge completa de 625 línies, o quadre, era de 25 Hz, amb una freqüència d'exploració de camp de 50 Hz (figura 10). Es va escollir aquesta velocitat de 25 imatges per segon i no de 24 per ser un submúltiple de la freqüència de 50 Hz de la xarxa elèctrica, fet que afavoria en els receptors primigenis poder-la utilitzar com a freqüència de sincronisme del receptor de la qual es derivaven les altres freqüències necessàries per estabilitzar les imatges.

Un altre dels paràmetres fisiològics a considerar és la resolució de l'ull humà, o l'agudeses visual, que és d'uns 2 minuts d'arc, és a dir, uns 0,03°, que fa que la distància òptima d'observació d'una imatge de televisió sigui de 4 a 10 vegades la seva altura. Això ens porta que la capacitat de discriminació de dues línies paral·leles a la pantalla observades a aquesta distància correspondrà a la dimensió de l'arc de visió, és a dir, el quocient de l'altura de la imatge respecte al nombre de línies. Aquest nombre de línies ne-

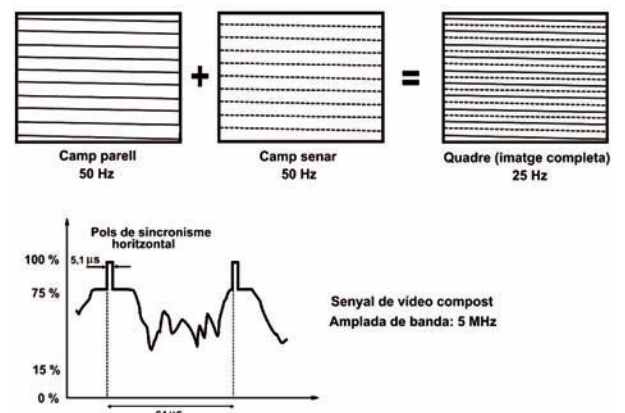


FIGURA 10. Sistema d'entrellaçat en televisió. Les exploracions corresponents als camps de línies parells i senars són transmeses seqüencialment conformant junt amb els polsos de sincronisme el senyal de vídeo compost.

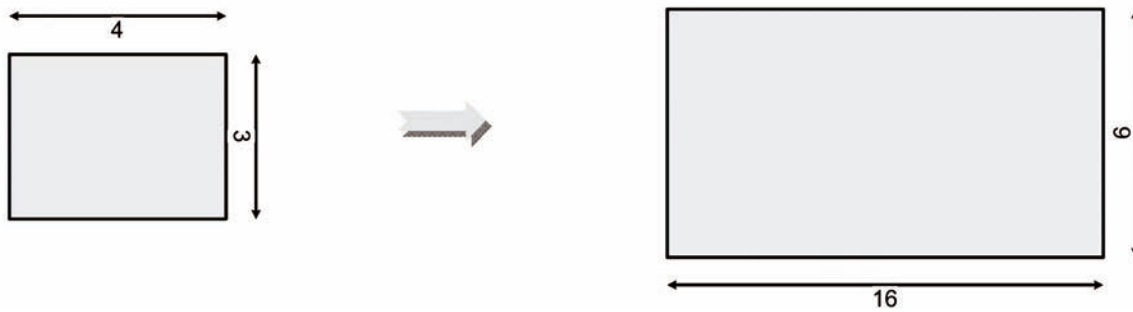


FIGURA 11. Relació d'aspecte de la pantalla de televisió. Correspon al quocient entre l'amplada i la llargada.

cessari s'obindrà, doncs, multiplicant l'angle de resolució pel quocient entre l'altura de la imatge i la distància d'observació, que si és de 6 ens donarà un total de 573 línies. A partir d'aquesta dada, i tenint en compte que per qüestions d'homogeneïtzació dels diferents tipus de pantalles de televisió és convenient reservar unes 53 línies sense transmetre imatge, arribem al valor de 625 línies adoptat pel sistema europeu estandarditzat pel CCIR-B/G, o les 525 línies adoptades pel sistema nord-americà NTSC (National Television System Committee), amb freqüències de quadre de 50 i 60 Hz, respectivament. I d'aquí s'obté que la freqüència de línia en el sistema CCIR-B/G ha de ser de 625 línies  $\times$  25 Hz, és a dir, 15,625 kHz.

La relació d'aspecte (figura 11), és a dir, la relació entre l'amplada i l'altura de la imatge, ha estat un dels paràmetres inamovibles en tota l'etapa de la televisió analògica i ha quedat establert en 4:3. Aquest «aspecte» gairebé quadrat ha estat motivat per la dificultat tecnològica de poder fabricar tubs de rajos catòdics (TRC) i sistemes de deflexió (figura 12) que admetessin formats més panoràmics, com el 16:9 típic del cinema. No ha estat fins al desenvolupament de les pantalles de plasma, primer (figura 13), cristall líquid (LCD, de l'anglès *liquid crystal display*), després, i LED (de l'anglès *light emitting diode*), actualment, que s'ha pogut adoptar un format de pantalla plana i amb una relació d'aspecte de 16:9, que ja ha esdevingut l'estàndard dels receptors de televisió actuals.

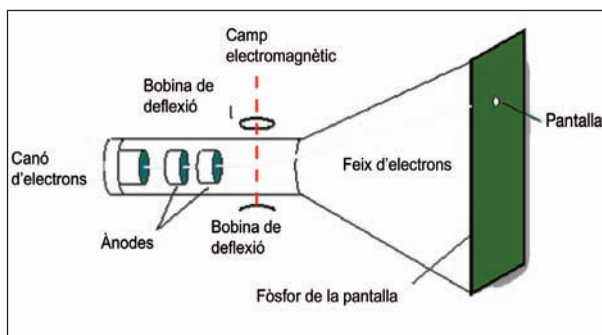


FIGURA 12. Esquema de blocs del TRC d'una pantalla de televisió en blanc i negre. El senyal de luminància s'aplica al càtode, que genera un feix d'electrons proporcional en aquest senyal. Aquest feix és accelerat per la MAT (molt alta tensió) que s'aplica en els anodes, i a la vegada és deflectit pel camp magnètic generat pels senyals tipus dents de serra que, sincronitzats amb la freqüència de línia i de camp, desplacen el feix d'electrons per la pantalla, i impacta en el fòsfor, que produeix una intensitat lluminosa proporcional al senyal de luminància.

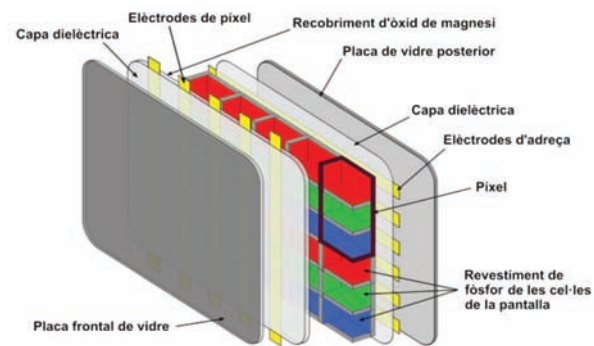


FIGURA 13. Esquema de blocs d'una pantalla plana de televisió de plasma.

## 2. La televisió en blanc i negre

Les primeres emissions de televisió es realitzaven en blanc i negre, i per tant només transmetien la informació de luminància (escala de grisos) obtinguda en l'exploració de la imatge amb tècniques d'entrellaçat amb freqüències de camp de 50 Hz i d'imatge o quadre de 25 Hz, a la qual s'havien d'afegir els senyals de sincronismes de línia i de sincronisme vertical que havien de permetre en el receptor sincronitzar el feix d'electrons del tub de rajos catòdics per impactar en els fòsfor i reproduir el nivell de luminància corresponent al píxel (contracció de *picture element*) de la imatge.

A l'Estat espanyol, l'estàndard adoptat [1] per a la transmissió via ràdio del senyal de televisió consistia a utilitzar canals de 7 MHz d'amplada de banda si s'utilitzaven les bandes I i III de VHF (de 47 a 68 MHz i de 174 a 230 MHz, respectivament), o de 8 MHz si s'utilitzaven les bandes IV i V d'UHF (canals 21 a 69, de 470 a 862 MHz), en què el senyal de luminància de 5 MHz d'amplada de banda es modulava en amplitud amb portadora en banda vestigial (VSB: *vestigial side band*), mentre que el senyal d'àudio es modulava en freqüència amb una desviació de freqüència de  $\pm 50$  kHz i s'ubicava a 5,5 MHz per sobre de la portadora de vídeo, i resultava l'espectre normalitzat de la figura 14 per a un canal de radiofreqüència, de 7 o 8 MHz, en què com a referència la portadora de vídeo s'ubicava a 1,25 MHz de l'inici del canal.

En aquest sistema la informació de vídeo va modulada en amplitud; per tant, està subjecta a interferències i atenuacions, el resultat no desitjat de les quals era el típic efecte

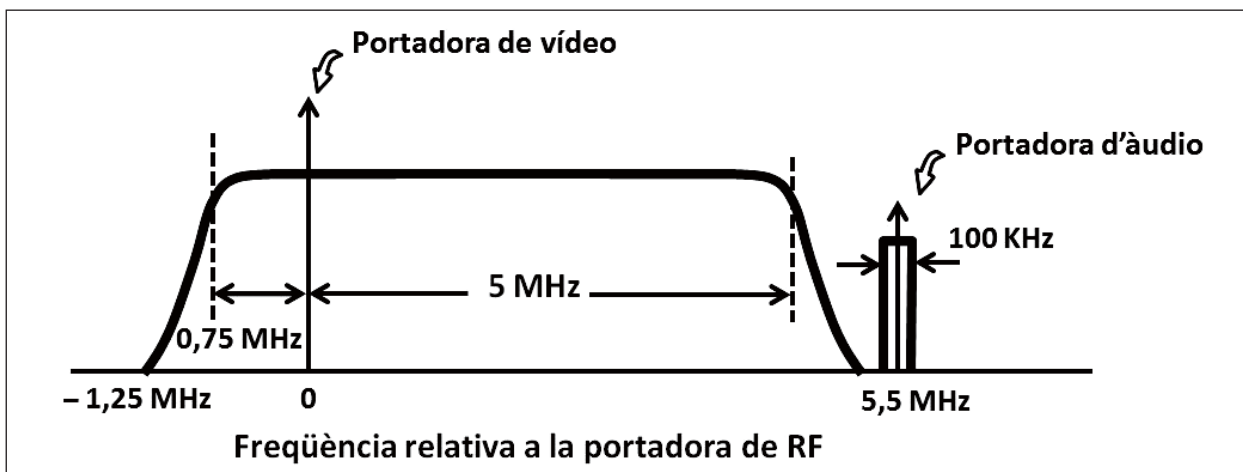


FIGURA 14. Espectre normalitzat d'un senyal de televisió en blanc i negre. Es pren la portadora de vídeo com a referència del canal, que comença a 1,25 MHz per sota d'aquesta. El senyal de FM corresponent a l'àudio està a 5,5 MHz de la portadora de vídeo.

de neu que apareixia en pantalla. Per altra banda, el so, pel fet d'anar modulats en FM, estava molt més protegit respecte de les interferències que la imatge. I com ja s'ha dit, el fet d'utilitzar com a freqüència de camp els 50 Hz coincidents amb la freqüència de la xarxa elèctrica, per altra banda molt estable, facilitava el disseny i la fabricació dels receptors ja que utilitzaven la mateixa xarxa elèctrica per sincronitzar les freqüències de línia i de quadre. Per altra banda, la propagació en aquestes bandes de VHF i UHF obligava que hi hagués visió directa entre emissor i receptor, i a evitar l'efecte de propagació multicamí causant del conegut efecte no desitjat de l'aparició de la doble imatge en pantalla. A més, a fi i efecte d'evitar que els harmònics dels oscil·ladors locals poguessin interferir en els canals adjacents, era necessari efectuar una acurada planificació de freqüències en les bandes esmentades, cosa que obligava a deixar nombrosos canals de guarda, és a dir, sense utilitzar, entre els canals de televisió actius, i a haver de canviar de freqüència quan s'utilitzaven reemissors de televisió, ja que si no es feia així la diferència de fase entre el senyal emès i el rebut podria provocar efectes interferents molt nocius.

Des del 1956 fins al 1972, en què es van iniciar a l'Estat espanyol les emissions amb el sistema de color adoptant el sistema alemany PAL (*phase alternating line*), es va desenvolupar una densa xarxa de centres emissors i reemissors de televisió que operaven primer només en la banda de VHF i que a partir de 1966 també ho feren en la banda d'UHF, fent ús de la norma anterior de transmissió de TV en blanc i negre [3], fins a la seva substitució total el 1976 per les emissions en color.

### 3. Les innovacions tecnològiques: sempre compatibles

Potser ens costaria trobar algun altre exemple de sostenibilitat tecnològica diferent del cas de la televisió analògica.

Totes les innovacions tecnològiques que al llarg dels anys es van anar introduint, el color, el teletext, el so dual i el so digital, ho van fer sempre mantenint el principi de la compatibilitat amb els receptors ja existents; és a dir, aquests haurien de continuar funcionant igual que abans d'introduir la millora tecnològica.

La introducció del color va suposar un canvi tecnològic important. Per una banda, significava transmetre, a més del senyal de luminància i els sincronismes de línia i quadre, la informació referent al color, tot mantenint la mateixa amplada de banda de 7 o 8 MHz i garantint la compatibilitat amb els receptors de blanc i negre existents. Per fer-ho es va adoptar la propietat de la mescla additiva dels colors, és a dir que qualsevol color es pot sintetitzar a partir de la projecció de tres colors primaris, i es van establir com a tals el vermell (R: *red*), el verd (G: *green*) i el blau (B: *blue*), i a partir d'un conjunt d'estudis de colorimetria es va adoptar la següent equació de ponderació que ens relaciona la luminància Y amb els tres colors primaris RGB:

$$Y = 0,3R + 0,59G + 0,11B$$

Cal notar que aquest sistema és el contrari de l'utilitzat en pintura o en arts gràfiques, en què es realitza la suma subtractiva dels colors primaris.

Les càmeres de televisió van haver d'incorporar un sistema de miralls dicroics que permetien descompondre la imatge a transmetre en aquests tres colors primaris bàsics, i generaven els tres senyals RGB. Per mantenir la compatibilitat amb els receptors existents, calia, a partir d'aquests senyals, generar i emetre el senyal de luminància, però també la informació de color, tot mantenint la mateixa amplada de banda. Per fer-ho es va veure que només calia transmetre els senyals R-Y i B-Y, ja que en el receptor es podria obtenir el G per combinació lineal dels tres anteriors. Es van desenvolupar tres estàndards de televisió en color completament diferents: l'NTSC als Estats Units,

el SECAM (*séquentiel couleur à mémoire*) a França i als països de l'Est i el PAL (*phase alternating line*) a la resta d'Europa i a l'Estat espanyol.

En realitat, el sistema NTSC únicament transmet els senyals Y, I i Q, obtinguts aquests dos últims de la manera següent:

$$I = 0,6R - 0,28G - 0,32B$$

$$Q = 0,21R - 0,52G - 0,31B$$

Amb aquests senyals I i Q es modulen dues subportadores de la mateixa freqüència però desfasades entre si 90° (en quadratura); de manera que finalment es transmet la portadora de luminància més la subportadora de cromà; és a dir, llavors tenim

$$M = Y + [Q \sin(\omega t + 33^\circ) + I \cos(\omega t + 33^\circ)]$$

En conseqüència, el mòdul de la subportadora de cromà és

$$|C| = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

i la seva fase

$$\phi = \text{atan} \frac{Q}{I}$$

Així, finalment, el senyal de vídeo transmès el podem escriure d'aquesta manera:

$$M = Y + \left[ |C| \sin\left(\omega t + \frac{33\pi}{180^\circ} + \phi\right) \right]$$

Fins aquí podem dir que aquesta codificació és comuna a tots els sistemes de televisió en color; ara bé, en el sistema PAL, desenvolupat per Telefunken, a fi de fer menys sensible la informació de tint a la imatge de les variacions de fase de la subportadora de cromà, el que es fa és can-

viar 180° la fase del senyal (R-Y) en línies alternes, amb la qual cosa s'aconsegueix que els errors de fase s'eliminin [4].

L'amplada de banda del senyal de cromà és d'1,3 MHz, i la freqüència de la subportadora de cromà és  $f_{sc} = 4,433618$  MHz. D'aquesta manera, el senyal PAL transmès queda així:

$$M = Y \pm v \cos(\omega_{sc}t) + u \sin(\omega_{sc}t),$$

essent

$$v = 0,877(R - Y)$$

$$u = 0,493(B - Y)$$

L'espectre normalitzat per a un senyal PAL és el de la figura 15. L'envoltant del senyal PAL és idèntic al del senyal NTSC, però la fase de la subportadora canvia línia a línia a fi de reduir els errors de fase que poden produir-se en la transmissió, o possibles problemes de sincronisme que es poden produir en el receptor.

Com que per realitzar la desmodulació del senyal de color és necessari obtenir una referència de fase, aquesta haurà de ser transmesa amb el mateix senyal; això és el que es coneix amb el nom de *burst* de color, que s'afegeix en el període de retrocés de línia, tal com es pot veure a la figura 16.

El receptor desmodula els senyals Y, R-Y i B-Y, i d'aquests obté els tres components RGB, que aplica al tub de raigs catòdics, en la pantalla del qual es produeix la mescla additiva (figura 17).

Anys després, el 1977, respectant el principi de compatibilitat amb els receptors existents, s'introdueix el sistema teletext de transmissió de dades de baixa velocitat [5]. Consisteix a aprofitar el temps mort de retrocés del feix d'electrons de línia a línia i de camp per inserir un senyal addicional que no interfereix la imatge analògica però que al receptor li permet crear una pantalla de text amb continguts alfanumèrics i uns gràfics molt senzills (figura 18).

I, de manera gairebé simultània amb el teletext, s'introdueix una nova millora, en aquest cas amb relació al so.

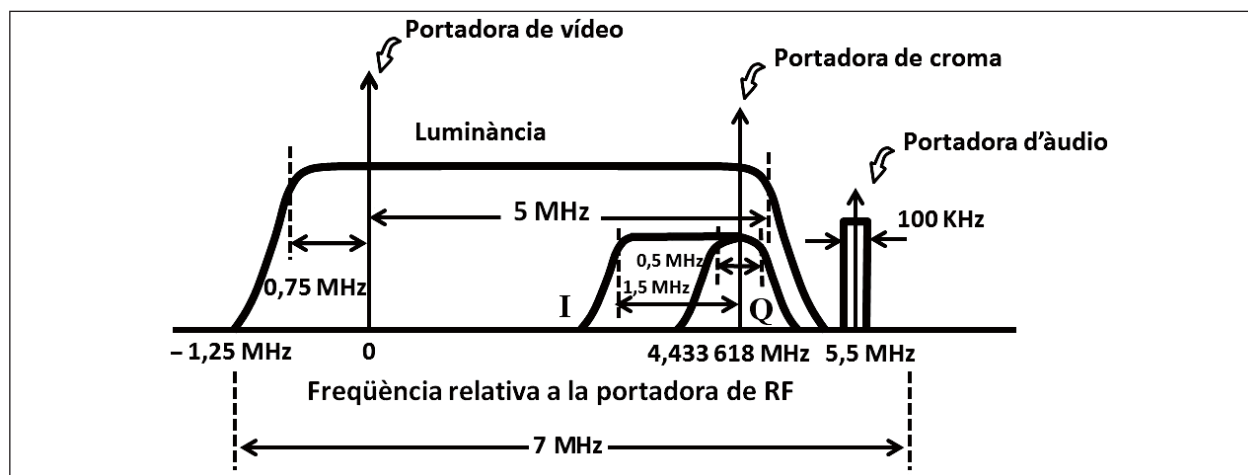


FIGURA 15. Espectre normalitzat d'un senyal de televisió en color en format PAL.

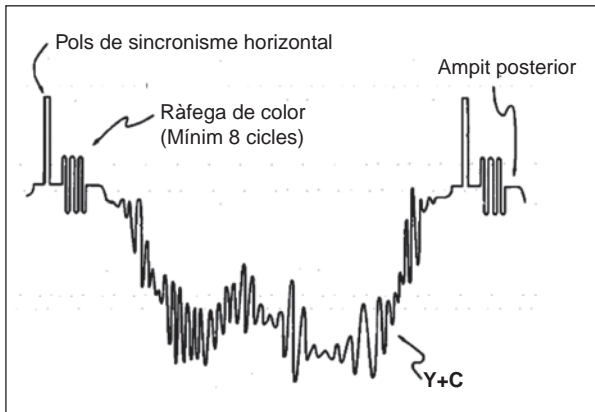


FIGURA 16. Exemple del senyal de vídeo compost amb els polsos de sincronisme de línia i el pols de *burst* de color amb 8 cicles de la subportadora de cromina per facilitar el sincronisme en el receptor.

D'una banda, el sistema analògic de so dual, consistent a afegir una segona subportadora d'àudio modulada en FM, que es pot utilitzar per transmetre un segon idioma, o per generar un senyal estereofònic transmetent en aquesta subportadora el senyal L-R (*left-right*) i el senyal monofònic (L + R) per la portadora de so principal, de manera que el receptor pot regenerar els senyals L i R. I, de l'altra, el sistema NICAM (*near instantaneous companded audio multiplex*) [6], que, introduït l'any 1972, consisteix en la transmissió digital d'àudio en qualitat de CD, fent ús d'un sistema de compressió del so, i que permet alhora la transmissió de diferents àudios, o de so estereofònic d'alta qualitat.

Innovacions, totes, que preservaven la compatibilitat dels receptors existents i tot en el mateix canal de 8 MHz d'amplada de banda, i amb el màxim d'eficiència possible.

Entremig, la Unió Europea de Radiodifusió (EBU) i l'Institut Europeu de Normes de Telecomunicació (ETSI) treballaven en el disseny de nous estàndards de televisió digital, i de millores de l'analògic: D2MAC, PAL+ i TVHD són mostres dels sistemes que es van desenvolupar, però que no van reeixir, en part pel fet que la seva posada en marxa suposava la renovació total del parc de televisors europeu, llavors del tot impensable. Per evitar-ho, al vell televisor li comencen a sortir unes «protuberàncies», els *set-top box*, que actuen com a descodificadors d'aquests

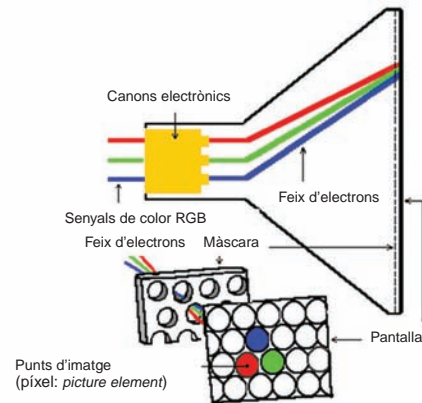


FIGURA 17. Esquema de blocs d'un tub de raigs catòdics d'una pantalla de televisió en color. Utilitza tres feixos d'electrons, un per cada senyal RGB, que impacten en la pantalla en els corresponents fòsforos del mateix color.

nous sistemes i que acaben generant els RGB, que són els que es connecten al televisor, el qual deixa de ser un receptor i passa a ser una pantalla de visualització.

Paral·lelament, l'EBU i l'ETSI també comencen a desenvolupar el nou sistema de ràdio digital, el DAB (*digital audio broadcast*) [7], que hauria de substituir la vella FM. Si bé això no succeeix, se'n deriva el nou estàndard de televisió digital, el DVB (*digital video broadcast*) [8], amb les seves variants: DVB-T (terrestre o TDT), DVB-S (satèl·lit), DVB-C (cable), DVB-H (*handheld*). Totes fan ús d'una nova modulació, l'OFDM (*orthogonal frequency division multiplex*), que aprofita els efectes de la propagació multicamí per fer interferència constructiva, en comptes de la destructiva pròpia de la televisió analògica, i que alhora permet la creació de xarxes de reemissors d'isofreqüència, prohibides en analògic, i fa un ús més eficient de l'amplada de banda de 8 MHz assignada i evita la utilització de canals de guarda.

I amb això arriba la gran novetat: el Govern de l'Estat aprova el 9 d'octubre el Reial decret 2169/1998, pel qual s'aprova el Pla Tècnic Nacional de la Televisió Digital Terrestre, amb què, en sintonia amb Europa, es planifica l'apagada analògica amb una previsió de deu anys, és a dir, per al 31 de desembre de 2011 [9], cosa que permet planificar, desenvolupar i abaratir els costos dels receptors, cohabitant durant un cert temps les emissions analògiques i les

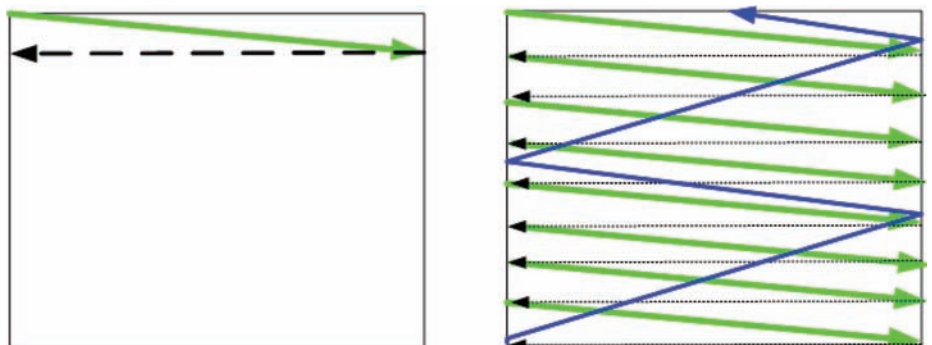


FIGURA 18. El sistema de teletext aprofita els temps de retorn de línia i de retorn de camp, en què no es projecta cap imatge, per ingerir-hi la transmissió de dades de baixa velocitat.

digitals, desenvolupar televisors de pantalla plana, renovar a curt termini, ara sí, tot el parc de televisors i substituir de retruc tota la xarxa europea de televisió.

#### 4. La televisió digital terrestre

L'estàndard de la televisió digital terrestre (TDT) és el corresponent al DVB-T (*digital video broadcast-terrestrial*) desenvolupat per l'ETSI en col·laboració amb l'EBU i amb la participació de fabricants, radiodifusors i altres agents agrupats en el consorci DVB Project.

Es va començar a desenvolupar el 1993 per als sistemes de televisió digital per cable i per satèl·lit, ja que no presentaven els problemes de propagació multicamí, de limitacions d'amplada de banda i d'interferències típics dels sistemes terrestres de radiodifusió. El març de 1997 es va publicar la primera versió de l'estàndard DVB-T, que especificava l'estructura de les dades, la codificació de canal i el sistema de modulació. Actualment és el sistema més estès a escala internacional, ja que aporta un nivell de flexibilitat prou bo per permetre des de serveis de televisió d'alta definició (HDTV) fins a sistemes multicanal de televisió amb definició estàndard (SDTV).

Es fonamenta, d'una part, en la digitalització del senyal de vídeo i l'aplicació de tècniques de compressió digital basades en els estàndards MPEG, elaborats pel Moving Pictures Experts Group, i, de l'altra, en la utilització de la modulació OFDM per a la transmissió via ràdio dels senyals.

Digitalitzar un senyal de vídeo de color significa digitalitzar simultàniament tres senyals: la luminància  $Y$  i els dos components de croma  $(R-Y)$  i  $(B-Y)$ . Si la codificació d'aquests tres senyals es fes amb 8 bits, tenint en compte que l'amplada de banda de la luminància és de 5,75 MHz i 2,75 MHz la dels senyals de croma, la velocitat de bit dels senyals digitalitzats seria de 108 i 54 Mbps, respectivament, cosa que ens donaria una velocitat de transmissió global de 216 Mbps, clarament inassolible pels mitjans de transmissió convencionals. És aquí quan es veu necessària la introducció d'algun sistema de compressió d'imatge que permeti reduir la velocitat de transmissió de dades, tot garantint la qualitat de la imatge transmesa.

La digitalització d'un senyal de televisió equival a assignar a cada píxel de la imatge tres nombres: un per al valor de la luminància i dos per a la crominància. Si l'exploració de la imatge s'ha fet utilitzant  $n$  píxels en horitzontal i  $m$  línies en vertical, el resultat el podem representar com una triple matriu de dimensió  $n \times m$ , amb els valors de luminància i croma per a cada píxel de la imatge. Com que es tracta d'una imatge en moviment, cadascun dels elements d'aquestes tres matrius canviarà de valor a una velocitat de 25 imatges per segon.

Si bé per a la televisió analògica els senyals  $Y$ ,  $(R-Y)$  i  $(B-Y)$  podien adoptar valors compresos entre 0 i 1, si els digitalitzem directament codificant-los amb 8 bits, és a dir, establint 256 valors possibles de manera lineal, resultarà

que, com que l'ull humà és més sensible a la foscor que a la lluminositat, perdrem resolució en les zones fosques ja que destinarem els mateixos nivells de quantificació per a les zones lluminoses que per a les fosques, amb el resultat de perdre detalls de la imatge. Per evitar-ho cal predistorcionar els senyals de vídeo introduint el que es coneix com la *correcció gamma*, per compensar a la inversa la resposta de l'ull humà. Aquesta correcció fa ús de la funció següent:

$$V_{out} = V_{in}^{\gamma}$$

on  $\gamma$  és un coeficient menor que la unitat, habitualment 1/2,2. Els senyals de luminància i croma amb la correcció gamma aplicada es denoten com a  $R'$ ,  $G'$ ,  $B'$  i  $Y'$ , i ara s'interrelacionen a partir de les expressions següents:

$$\begin{aligned} Y' &= 0,299R' + 0,587G' + 0,114B' \\ (R - Y)' &= 0,701R' - 0,587G' - 0,114B' \\ (B - Y)' &= -0,299R' - 0,587G' + 0,886B' \end{aligned}$$

Ara, els valors d'aquests senyals estan compresos entre 0 i 1 per al  $Y'$ , entre +0,701 i -0,701 per al  $(R-Y)'$  i entre +0,886 i -0,886 per al  $(B-Y)'$ . Si aquests darrers els normalitzem entre -0,5 i +0,5 obtindrem els senyals de croma anomenats  $C_R$  i  $C_B$ , definits com:

$$\begin{aligned} C_R &= \frac{(R - Y)'}{1,402} \\ C_B &= \frac{(B - Y)'}{1,772} \end{aligned}$$

El procés de digitalització finalitza amb la codificació en 8 bits d'aquests tres senyals d'acord amb la norma UIT-R-BT-601 [10], que, dels 256 nivells possibles, només en destina 220 al senyal de luminància i reserva els altres 36 a senyals de sincronisme, i destina 225 nivells per als dos senyals de croma, format amb què finalment s'obtenen els tres senyals que formen el vídeo digitalitzat  $Y'C_R C_B$ . Aquest procés de digitalització s'aplica tant als sistemes que utilitzen entrellaçat com als que no, és a dir, els progressius.

El sistema MPEG-2 és l'estàndard utilitzat en la compressió d'un senyal de vídeo; es basa a aprofitar la mateixa propietat de la persistència retiniana de l'ull humà per resoldre canvis ràpids de color i en el fet que els canvis que es produeixen quadre per quadre, en el contingut d'una seqüència d'imatges, són pocs, raó per la qual es poden utilitzar tècniques predictives per preveure el valor dels píxels d'un quadre respecte a l'anterior. Es tracta, en definitiva, d'eliminar la informació redundant de la imatge, tant l'espacial, en què en una àrea de la imatge tots els píxels tenen el mateix valor, com la temporal, en què les successives imatges són molt similars. Això es porta a cap fent una estimació de la imatge actual a partir de les enviades anteriorment per extreure la diferència entre la imatge estimada i l'actual, codificar la imatge diferència i enviar només aquesta diferència al descodificador amb què haurà de reconstruir la imatge original.



Aquest sistema MPEG-2 descompon la seqüència de quadres en tres tipus diferents: els quadres tipus I (*intra-coded picture*), els tipus P (*predicted picture*) i els tipus B (*bi-predictive picture*), i ho fa tant per al senyal de luminància com per als dos senyals de cromina.

Els quadres I són una versió comprimida d'un quadre, i són independents del contingut dels quadres anterior i posterior. Es basen a analitzar la redundància espacial de la imatge i en la dificultat que té l'ull humà de detectar canvis ràpids en la imatge i codificar-la. El quadre sense comprimir s'analitza en blocs de  $8 \times 8$  píxels, aplicant la transformada discreta del cosinus (DCT) a les dades de cada bloc, amb què s'obté una matriu de dimensió  $8 \times 8$  en la qual els seus coeficients són el resultat de convertir les variacions espacials de la imatge en variacions de freqüència, sense alterar, però, la informació del bloc, de manera que el senyal original sempre es pot reconstruir fent la transformada inversa del cosinus. Amb això es facilita la quantificació dels coeficients, ja que els de freqüència més elevada solen ser zero, amb què es redueix, per tant, el volum de dades a transmetre. Aquesta quantificació es fa aplicant el codi de Huffman, que permet a més reduir el nombre de bits de cada coeficient i, per tant, el conjunt de dades de la matriu a transmetre. Fent el procés invers en el receptor es pot reconstruir la imatge amb un error molt petit.

Pel que fa al moviment, si no fem res, el seu efecte és que redueix les similituds entre les imatges consecutives i augmenta el volum de dades a transmetre. De fet, un objecte d'un quadre pot no canviar de forma però sí de posició en una seqüència de quadres; per tant, la codificació consistirà a tractar de mesurar el moviment de l'objecte i enviar només al descodificador un vector amb les dades d'aquest moviment, amb què haurà d'ubicar l'objecte al seu nou lloc del quadre. Aquesta informació és la que incorporen els quadres P i B.

Els quadres de tipus P presenten més compressió que els de tipus I, ja que s'obtenen processant la informació dels quadres I o P anteriors. S'encarreguen, per tant, de la codificació del moviment. S'obtenen a partir de la reconstrucció del quadre anterior de referència, el qual es divideix en macroblocs de  $16 \times 16$  píxels, que es comparen amb els macroblocs del senyal de referència reconstruït a fi de trobar el més semblant; llavors es mesura el desplaçament existent entre ambdós blocs que es correspon al moviment de l'objecte, el qual es codifica en un vector de moviment. Els quadres de tipus B es processen de manera similar, excepte que tenen en compte els quadres anterior i posterior, i per tant presenten un nivell més alt de compressió que els P.

Així, els quadres tipus I corresponen a la codificació de la redundància espacial i els quadres tipus P i B corresponen a la codificació de la redundància temporal. Cadascun d'aquests quadres s'ordena dins d'una seqüència anomenada GOP (*group of pictures*), que sempre encapçala un quadre de tipus I, seguit de diversos quadres de tipus B o P. La

seqüència s'identifica amb dos dígits: el primer correspon al nombre d'imatges existents des de l'inici de la seqüència i el primer quadre de tipus P, i entre aquest i el següent quadre P; i el segon indica la distància entre dos quadres I, és a dir, la longitud total de la seqüència.

A més, en el sistema MPEG-2 encara es pot reduir més la velocitat de bit fent un submostreig dels senyals de cromina, és a dir, enviant menys mostres de cromina ja que, com hem vist, l'ull humà és més sensible als canvis de lluminositat que als de color. Així, per exemple, el format 4:2:2 indica que s'han suprimit la meitat dels valors de cromina; el format 4:2:0 indica que s'han suprimit tres quartes parts dels valors de cromina, i finalment el format 4:4:4 indica que no s'ha suprimit cap valor de cromina.

Pel que fa a l'àudio, el sistema MPEG-2 es basa en el sistema MPEG-1 utilitzat en DAB, que permet unes freqüències de mostreig de 32, 44,1 i 48 kHz i unes velocitats de bit de 32, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160, 192, 224, 256, 320 i 384 kbit/s. El sistema MPEG-2 hi afegeix les freqüències addicionals de mostreig de 16, 22,05 i 24 kHz i unes noves velocitats de bit de 8, 16, 24, 40 i 144 kbit/s, a més d'un sistema multicanal d'àudio de tipus 5.1, per crear efectes de so envoltant (*surround*), i permet formats d'àudio monofònic, estereofònic i dual.

Com a resum, en la taula 1 es mostren els diferents perfils i nivells de compressió que es poden obtenir amb el sistema MPEG-2.

El flux de bits generat amb l'estàndard MPEG-2 s'anomena *senyal múltiplex de programa* i correspon a la compressió dels senyals de vídeo (entrellaçat o progressiu), d'àudio i de les dades associades a un programa de televisió. El múltiplex de transport s'obté en afegir diferents múltiples procedents d'altres programes de televisió, el qual es sotmetrà a una modulació de tipus QPSK, 16-QAM o 64-QAM, a fi d'augmentar en 4, 16 o 64 el nombre de bits per símbol transmès i acabar obtenint per al flux de dades d'aquest múltiplex de transport una velocitat final de transmissió d'entre 4,98 i 31,67 Mbps en funció de la modulació utilitzada. Finalment, aquest múltiplex es modularà de nou en OFDM per emetre'l per antena.

L'OFDM consisteix a distribuir el senyal a modular en un nombre molt elevat de subportadores molt juntes, amb el resultat que és com si cadascuna estigués modulada amb una velocitat de transmissió de dades baixa. Per evitar que es produeixin interferències entre elles, aquestes portadores han de ser ortogonals entre si, cosa que s'obté fent que la seva separació sigui l'invers del temps del símbol. Amb això també s'evita que per l'efecte del retard produït en la propagació multicamí, que en els sistemes analògics provoca una interferència destructiva, ara aquesta interferència passi a ser constructiva. Això s'aconsegueix fent, d'una banda, que el temps del símbol sigui molt més gran que qualsevol retard introduït per l'efecte multipropagació, i afegint un interval de guarda abans de mostrejar el símbol rebut, de manera que quan es mostra es fa su-

TAULA 1  
Combinacions possibles de nivell i perfil en MPEG-2

Perfil@ Nivell	Resolució (píxels)	Velocitat màxima de quadre (Hz)	Mostreig de croms	Velocitat de bit (Mbit/s)	Aplicació típica
SP@LL	176 × 144	15	4:2:0	0,096	Telèfons sense fils
SP@ML	352 × 288	15	4:2:0	0,384	PDA
	320 × 240	24			
MP@LL	352 × 288	30	4:2:0	4	Descodificadors ( <i>set-top boxes</i> : STB)
MP@ML	720 × 480	30	4:2:0	15 (DVD: 9.8)	DVD, SD-DVB
	720 × 576	25			
MP@H-14	1440 × 1080	30	4:2:0	60 (HDV: 25)	HDV
	1280 × 720	30			
MP@HL	1920 × 1080	30	4:2:0	80	ATSC 1080i, 720p60, HD-DVB (HDTV). (Per a transmissió terrestre, la velocitat màxima de transmissió està limitada a 19,39 Mbit/s)
	1280 × 720	60			
422P@LL			4:2:2		
422P@ML	720 × 480	30	4:2:2	50	Sony IMX utilitzant només quadres tipus I. Radiodifusió de vídeo professional (només quadres I i P)
	720 × 576	25			
422P@H-14	1440 × 1080	30	4:2:2	80	
	1280 × 720	60			
422P@HL	1920 × 1080	30	4:2:2	300	Sony MPEG HD422 (50 Mbit/s), Canon XF Codec (50 Mbit/s), Convergent Design Nanoflash recorder (fins a 160 Mbit/s)
	1280 × 720	60			

mant tant el senyal directe com els reflectits. Això es pot veure en la figura 19. Per altra banda, encara que es produeixi un esvaïment d'una de les portadores, la informació es pot recuperar a partir de les altres introduint sistemes de codificació d'errors en el senyal transmès. A més permet la utilització de xarxes d'isofreqüència, amb les quals es

pot cobrir tot el territori d'un estat sense haver de canviar de freqüència —cosa que era impensable en el cas analògic— i fent servir les mateixes freqüències que la televisió analògica (canals 21 a 69 de la UHF).

En introduir la codificació FEC (*forward error code*), si s'esvaeix alguna de les portadores, la seva informació es

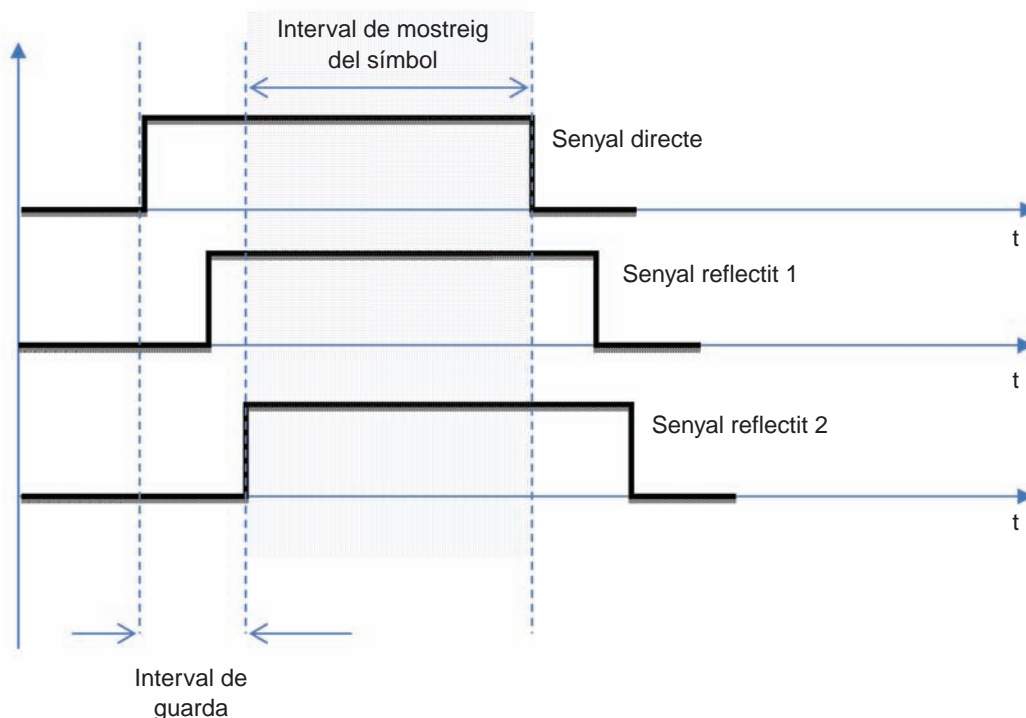


FIGURA 19. Efecte de la interferència constructiva en un senyal modulad en OFDM.

TAULA 2  
Velocitat de transmissió de dades en Mbps en funció del tipus de modulació, l'interval de guarda i la codificació FEC, per a un sistema 8K

Modulació	Codificació FEC	Interval de guarda			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,10
	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,10
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

pot recuperar mitjançant els codis convolucionals Reed Solomon, que admeten cinc possibles velocitats de codificació: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 i 7/8; tot i que com més alta sigui aquesta velocitat, més bits redundants s'introduiran i, per tant, la velocitat de transmissió dels bits útils del flux de dades es reduirà. El sistema admet també la possibilitat de definir quatre intervals de guarda diferents, i possibilita l'elecció del nombre de portadores entre 2K o 8K, que equivalen a 1.705 i a 6.817 portadores amb un temps de símbol de 224 µs i 896 µs, i amb una separació entre elles de 4.464 Hz i 1.116 Hz, respectivament.

En funció de quin sigui el tipus de modulació utilitzat, la velocitat FEC i l'interval de guarda, s'obtenen les velocitats globals de transmissió del senyal de vídeo que s'indi-

quen en la taula 2, essent la velocitat màxima de transmissió de 31,6 Mbps per a un sistema 8K.

L'espectre teòric resultant d'un múltiplex de TDT per a un canal de 8 MHz d'amplada de banda és el de la figura 20.

En resum, des del punt de vista de l'ús de l'espectre radioelèctric aquest sistema és molt més eficient que l'anàlogic, ja que en un mateix canal de 8 MHz i en funció de la qualitat de vídeo seleccionada es poden emetre fins a cinc programes de televisió, cosa que, afegida a la possibilitat d'utilitzar xarxes d'isofreqüència i a poder utilitzar canals contigus, ens duu a una hipotètica capacitat d'emissió de 240 programes de televisió de qualitat estàndard en tot l'espectre comprès entre els canals 21 i 69 de la UHF, tal com es pot veure a la figura 21.

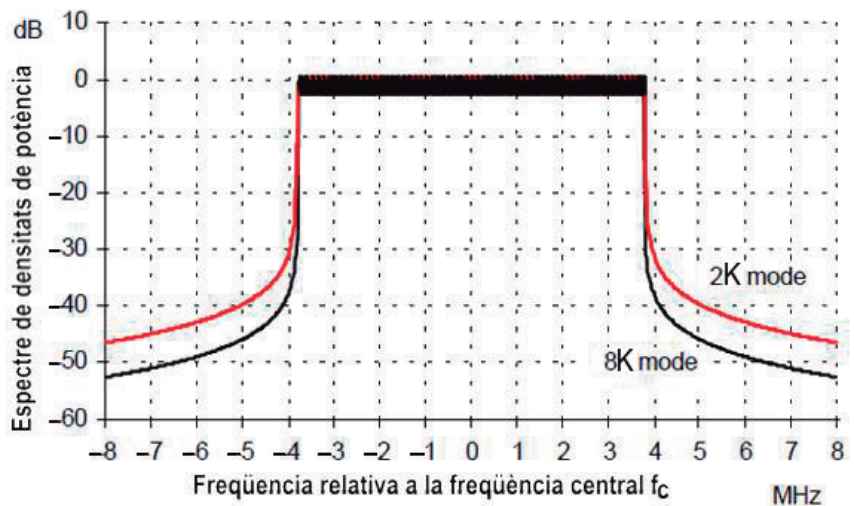


FIGURA 20. Espectre teòric de RF d'un senyal de DVB-T corresponent a un canal de 8 MHz amb un interval de guarda  $\Delta = TU / 4$ , i per als modes 2K i 8K.

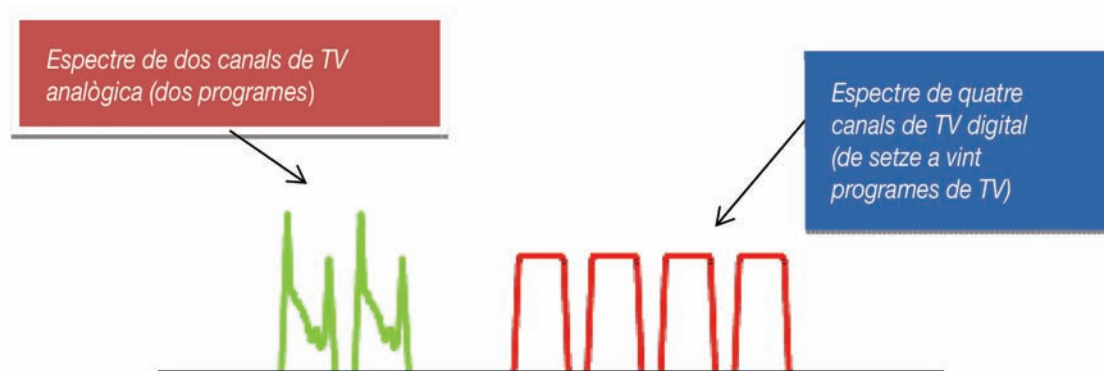


FIGURA 21. Comparativa entre la capacitat dels canals de 8 MHz de televisió analògica i els canals de TDT.

## 5. La regulació de la TDT

Tot i ser la TDT una innovació tecnològica, des del seus inicis ha experimentat una forta regulació per part dels organismes estatals i ens reguladors. A l'Estat espanyol, la regulació de la TDT es va començar a fer l'any 1998 i en el mes de març de 2013 encara ha experimentat una nova intervenció del Govern espanyol.

La TDT també ha suposat un nou model de gestió de la radiodifusió en el qual es diferencia clarament la productora de programes de l'operador de xarxa, el qual pot radiodifondre un múltiplex format per diversos programes provinents de diferents productores.

Pel que fa a la planificació de freqüències, el pla tècnic per a la televisió digital terrestre preveia la utilització de xarxes d'isofreqüència: els canals 66 a 69 per a tot el territori de l'Estat, un canal per cobrir cada territori autonòmic i un canal per a cada província, més un conjunt de canals d'àmbit local. Per al cas de Catalunya, la distribució de canals és la que s'indica en la taula 3.

En el mes de juny de 2005, la Generalitat va presentar el Pla d'implantació de la TDT a Catalunya, en el qual es recollia l'assignació de tres múltiples públics a la Corporació Catalana de Ràdio i Televisió (CCRTV), un múltiplex privat, ja adjudicat a Emissions Digitals de Catalunya, SA (Grup Godó), la previsió d'un múltiplex per a l'Euroregió (comunitats de l'antiga Corona d'Aragó) i vint-i-quatre

múltiplexs per a televisions locals, amb els quals es podrien veure noranta-sis programes, dels quals trenta-set quedarien reservats als ajuntaments.

Tot i el desplegament que ja s'estava fent de la TDT, a la primavera de 2006 es van iniciar les emissions analògiques del nou canal de televisió privada d'àmbit estatal La Sexta, que va obtenir la concessió de l'Estat a finals del 2005. Amb els cinc múltiples de TDT estatals, els dos de la Corporació Catalana de Ràdio i Televisió i el privat d'Emissions Digitals de Catalunya, es va completar la primera fase de desplegament.

Pel que fa als canals locals de TDT, la Generalitat va adjudicar el 4 d'abril de 2006 els trenta-set múltiples de gestió pública local, i el 21 de juny de 2006 el Consell de l'Audiovisual de Catalunya (CAC) va publicar l'informe vinculat sobre l'adjudicació dels cinquanta-nou múltiples locals de gestió privada, de què el Govern de la Generalitat va acordar l'adjudicació definitiva el 18 de juliol de 2006, amb què va quedar configurat el mapa de les demarcacions de la televisió local que s'indiquen a la figura 22.

El 23 de setembre de 2007, a les 11 h, Andorra va ser el primer estat a realitzar l'apagada total de la televisió analògica. D'altra banda, el 23 d'abril de 2007 Televisió de Catalunya va iniciar des de Collserola les emissions en període de proves de televisió digital en alta definició (HDTV: *high definition TV*) en format MPEG4-H.264 a 10,2 Mbps utilitzant dos programes d'un múltiplex de quatre que tenia

TAULA 3  
Canals de TV d'UHF assignats a Catalunya pels múltiples estatals, nacionals i locals

Lleida	Tarragona	Girona	Barcelona	Tipus
58	59	60	61*	TV de Catalunya
64 (Catalunya)				TV Espanyola
66				TV privades d'àmbit estatal
67				
68				
69				
53	51	36	33	TV privada àmbit català
21 zones i 24 canals en total				TV locals, municipals i privades

(\*) Al Maresme s'usa el canal 43, que es manté a Collserola a més del 61.

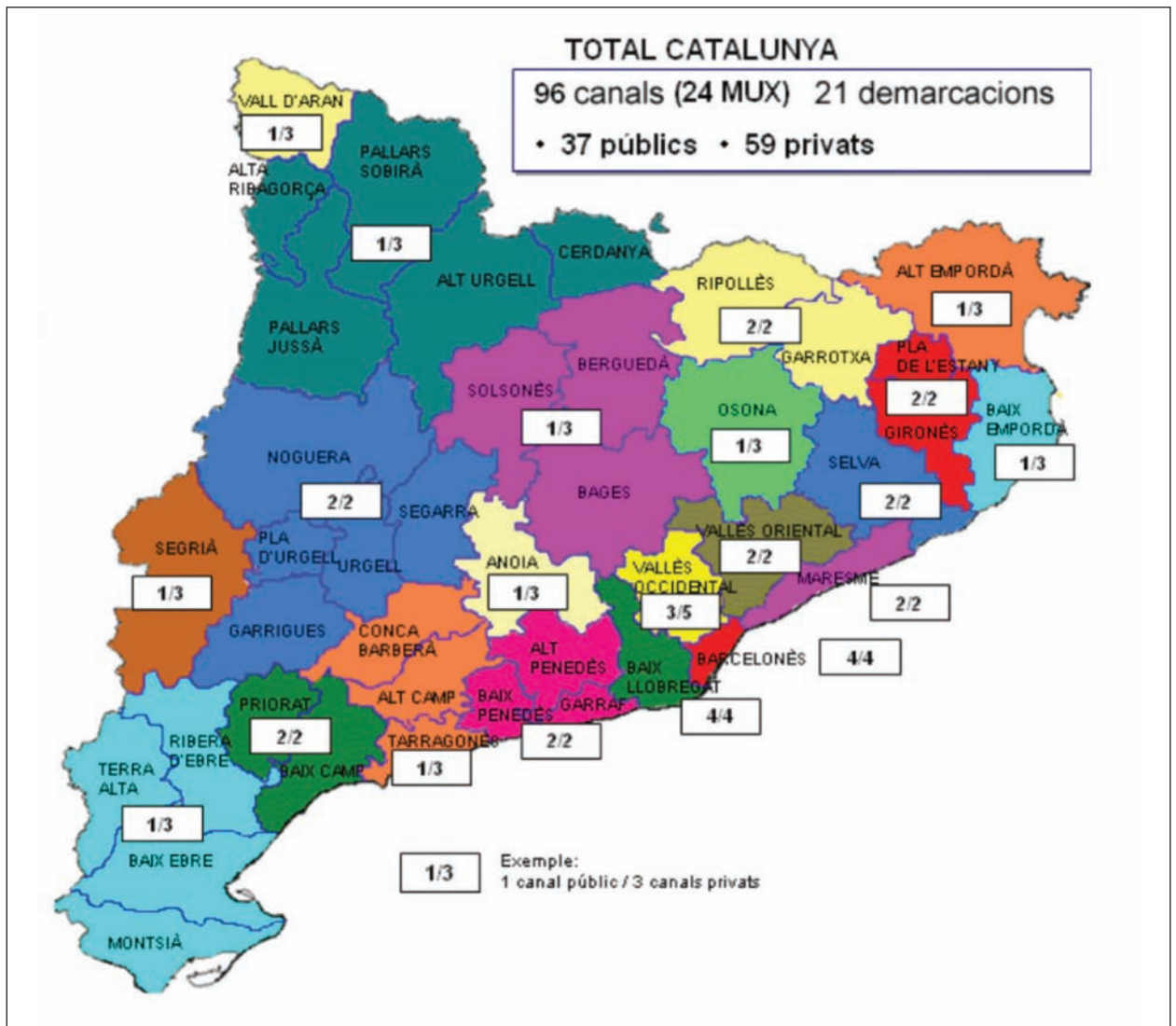


FIGURA 22. Mapa de les demarcacions de les televisions locals de gestió pública i de gestió privada.

assignat i que utilitzava per emetre duplicats els programes TV3, K3-C33, 3/24 i 300. Pel que fa a la cobertura, a l'octubre la Corporació Catalana de Mitjans Audiovisuals (l'antiga Corporació Catalana de Ràdio i Televisió) va anunciar que iniciava la segona fase d'implantació per arribar cap a final d'any al 95 % de la població catalana amb la posada en marxa d'una cinquantena de nous centres emissors i l'ampliació de la cobertura dels sis ja existents (Collredó, Sant Pere de Ribes, Montserrat, cap de Vaquèira, Igualada i pic de l'Orri). Pel que fa a la televisió local digital, a finals de juliol van començar a Collserola les emissions del múltiplex privat amb els programes de Canal Català, Canal 25, Localia i Urbe TV. A escala estatal, el Ministeri d'Indústria, Comerç i Turisme va anunciar que en els pressupostos per al 2008 destinaria 19,3 milions d'euros per facilitar el desplegament de la TDT.

L'any 2008, en el marc del Congrés Mundial de Telefo-

nia Mòbil de Barcelona, es va oferir una demostració real de difusió de televisió mòbil en banda S (de 2 a 4 GHz) utilitzant el nou estàndard DVB-SH (*digital video broadcasting - satellite services to handhelds*), que va cobrir la zona de la Fira de Barcelona, i que va ser patrocinat per Alcatel-Lucent (xarxa de reemissors), DiBcom, Eutelsat Communications (distribució per satèl·lit cap a la xarxa de reemissors), Sagem Mobiles, SES Astra, TeamCast (moduladors DVB-SH), UDCast (encapsuladors DVB-SH), Abertis (instal·lació de reemissors) i els proveïdors de continguts CNBC, La Sexta, Canal 300, Nickelodeon, 40 Latino, Teledporte, 24h TVE i Telecinco Sport.

L'estàndard DVB-SH consisteix en una millora del DVB-H (*digital video broadcast handheld*) dissenyat per lliurar vídeo, àudio i serveis de dades a dispositius portàtils utilitzant la banda S de freqüències. Es tracta d'un sistema híbrid que pot utilitzar tant transmissió terrestre com de satèl·lit amb

la finalitat de donar cobertura a grans àrees. Està pensat per poder operar dins de 3 GHz, encara que la freqüència habitual serà d'uns 2,2 GHz. Es correspon a l'estàndard TS 102 585 i EN 302 583 de l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). En la conferència DVB World del mes de març de 2008, la comissària europea Viviane Reding va donar el seu suport en aquest nou estàndard destacant-ne els avantatges de ser un estàndard obert, flexible i assequible.

A finals de juny del mateix any, el consorci DVB Project va aprovar l'especificació del nou estàndard DVB-T2 de segona generació de televisió digital terrestre [19], que va remetre a l'ETSI per a la seva aprovació. Aquest estàndard, que millora l'actual DVB-T, volia aprofitar l'espectre radioelèctric que s'allibera amb la apagada analògica per introduir nous serveis com ara nous multiplexs de televisió d'alta definició (HDTV) o nous serveis de difusió de dades (*datacast*), pensant en tot tipus de receptors, des d'ordinadors portàtils fins a telèfons intel·ligents (*smartphones*). Es preveia que durant un cert temps coexistirien ambdós sistemes, tot i que la transmissió de HDTV també és viable amb l'actual sistema DVB-T, amb el qual fins a l'estiu del 2008 TV3 va emetre en proves i com es fa a França. Es preveu que a començament de 2009 a Gran Bretanya es faci el desplegament d'un multiplex d'abast estatal amb tecnologia DVB-T2 per fer les primeres transmissions multicanal utilitzant aquest estàndard.

Aquest estàndard utilitza la mateixa modulació OFDM amb múltiples portadores, amb la codificació LDPC (*low density parity check*) combinada amb BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham), fet que permet generar un senyal robust davant el soroll i les interferències, alhora que permet utilitzar més sistemes de funcionament que el 2K o 8K propis del sistema DVB-T. També incorpora una nova tècnica anomenada *rotació de constel·lacions* que li dona més robustesa en condicions de dificultats en el canal de transmissió; això, juntament amb un altre mecanisme que permet ajustar-la en funció de les condicions de recepció, permet a un receptor mòbil estalviar bateria ja que només cal que descodifiqui un programa i no tots els del multiplex.

El Govern de l'Estat va aprovar el 13 d'agost de 2009 el Reial decret llei 11/2009, que estableix la normativa de la televisió digital de pagament o d'accés condicional (CA) basat en l'estàndard DVB-CSA (*common scrambling algorithm*), que permet als concessionaris l'emissió total o parcial d'un canal de pagament. El primer concessionari a posar-ho en marxa va ser Mediapro amb el canal GoTV.

La Generalitat al llarg del 2009 va completar l'encesa digital a vint-i-una comarques catalanes, que s'afegien a les vint que ja va posar en marxa el 2008, amb què completava gairebé tota la cobertura del país dins del pla «Catalunya connecta», que conjuntament amb la telefonia mòbil rural i la banda ampla rural va anar desplegant en els darrers anys.

Finalment el 3 d'abril de 2010 es va produir l'apagada analògica i, per tant, el cessament de totes les emissions de televisió analògica, amb què es va posar punt final a un

servei de telecomunicació que va mantenir la compatibilitat amb els receptors existents al llarg de cinquanta-quatre anys.

## 6. La reorganització de l'espectre radioelèctric

Ara bé, arran de la progressiva digitalització dels serveis de televisió en la banda d'UHF, la UIT ja va aprovar en la Conferència Regional de Radiocomunicacions de 2006 de Ginebra l'acord GE06, amb el qual sol·licitava que la transició de la televisió analògica a la digital en els països de la regió 1 (Europa i Àfrica) estigués enllestida abans del 17 de juny de 2015, tot i que la majoria de països europeus ja ho van avançar al 2012. Posteriorment, la Conferència Mundial de Radiocomunicacions de 2007 (CMR-07) va establir que les freqüències de 790 a 862 MHz, fins llavors reservades a la televisió (canals 61 a 69 d'UHF), a partir del 2015 es destinessin, a la regió 1, al servei de comunicacions mòbils, tot continuant reservant la banda de 470 a 790 MHz per al servei de radiodifusió de televisió digital (canals 21 a 60). Això és el que es coneix com el *dividend digital*.

Per aquest motiu l'Estat espanyol ha hagut de fer una nova planificació de freqüències del servei de televisió digital terrestre, ja que actualment els canals 61, 64 i del 66 al 69 s'estan utilitzant per als multiplexs de cobertura estatal i per al de la televisió catalana. Amb el Reial decret 365/2010, de 26 de març, es posen en marxa dos nous multiplexs públics per a TVE i tres nous multiplexs privats de cobertura estatal per a Antena 3, Telecinco i Cuatro, respectivament, i a Catalunya s'assigna un nou multiplex digital a la Corporació Catalana de Mitjans Audiovisuals, de manera que tots utilitzen les mateixes freqüències amb les quals abans emetien en analògic, i s'estableix que l'1 de gener de 2015 ja hauran d'haver deixat d'emetre en els canals del 61 al 69, i per tant s'alliberarà aquesta franja de l'espectre.

Alguns d'aquests canals van iniciar les emissions de televisió en alta definició (HD), després que TV3 les iniciés el 23 d'abril de 2007, les cessés l'11 d'agost de 2008 i les repregués el 18 de juny de 2009. Aquestes emissions es realitzen utilitzant una resolució vertical de 720 línies o més i amb una relació d'aspecte de 16:9; la codificació es realitza d'acord amb la recomanació H.264 de la UIT, que equival a la norma ISO/IEC 14496-10, també coneguda com a H.264/MPEG-4 AVC, i utilitzant com a estàndard de transmissió la norma EN 300 744 establerta per l'ETSI.

Tot i així el Ministeri va convocar el 28 d'abril de 2011 una subhasta amb múltiples rondes per adjudicar, també fins al 31 de desembre del 2030, un total de 270 MHz de domini públic radioelèctric, amb sis blocs d'àmbit estatal en la banda de 800 MHz, fruit d'aplicar el *dividend digital* en aquesta banda. Amb aquesta licitació es pretenia ampliar la cobertura a les zones rurals dels serveis de banda ampla mòbil, i alhora facilitar el desplegament de la quarta generació de telefonia mòbil —el sistema LTE (*long term evolution*)—, a fi d'oferir per al 2020 velocitats de 30 Mbps al-

menys al 90 % de la població de les localitats de menys de cinc mil habitants, cosa que equival al 98 % del total de la població.

El mes de juny de 2011, Telefónica, Mediaset i RTVE van iniciar les emissions del nou sistema de radiodifusió anomenat *televisió connectada*, basat en l'estàndard HbbTV (*hybrid broadcast broadband TV*), desenvolupat per un consorci participat per fabricants de televisors, radiodifusors i operadors d'infraestructures, com la catalana Abertis Telecom. Aquest estàndard, que va ser aprovat l'any passat per l'ETSI com a ETSI TS 102 796, combina l'emissió per ràdio dels programes de televisió amb la transmissió per Internet de banda ampla de continguts multimèdia, unificant-los tot en el mateix aparell de televisió. D'aquesta manera s'afavoreix la interactivitat i l'accés als continguts audiovisuals combinant la recepció per antena amb la d'Internet de banda ampla. El 25 d'octubre, Abertis Telecom va presentar la seva solució TDTcom, que permet utilitzar les funcionalitats de recepció sota demanda, elecció d'horaris i programació o televisió a la carta, sense pertorbar la recepció del senyal de TDT, i a primers de novembre va posar en marxa aquest servei per al canal IB3 de les Illes Balears, per incloure només en una primera fase les notícies dels seus informatius i posar-les a l'abast dels televisors connectats, o d'altres dispositius com les tauletes o els telèfons intel·ligents (*smartphones*).

Actualment, en el canal 66 de la UHF ja no s'emeten senyals de TDT, encara que de moment es continua emetent en els canals 67, 68 i 69, així com en el 64, si bé s'han anat ampliant les emissions en canals de freqüència més baixa, atès que del 60 al 69 ja han estat subhastats i hauran de quedar lliures l'1 de gener de 2015.

Ara bé, el Consell de Ministres del 22 de març de 2013 va aprovar un acord per executar la sentència de la Sala Contenciosa Administrativa del Tribunal Suprem de 27 de novembre de 2012 per la qual anul·lava l'acord del Consell de Ministres del 16 de juliol de 2010 amb què s'assignava un múltiplex de cobertura estatal a cadascun dels operadors de televisió privada sense cap mena de concurs.

## 7. Conclusions

El desenvolupament del sistema de televisió ha estat, fins a la implantació de la televisió digital, un exemple de sostenibilitat tecnològica. La introducció de les successives millores tecnològiques, el color, el teletext, el so digital, s'ha fet sempre garantint la compatibilitat amb els receptors existents.

El punt d'inflexió s'ha produït quan ha estat necessari digitalitzar el senyal de televisió, a fi i efecte de millorar-ne la definició, i fer un ús molt més eficient de l'espectre radioelèctric possibilitant l'emissió de quatre o cinc programes digitals on abans només es podia emetre un programa analògic. Deu ser un dels pocs exemples en què s'ha fet una

planificació acurada del seu desplegament amb una previsió de deu anys, cosa que ha permès que tots els agents implicats, productores, radiodifusors, fabricants i ens reguladors i d'estandardització, treballassin de manera coordinada per renovar un parc europeu de receptors de TV.

Malgrat aquesta planificació, aquests deu anys també han suposat el desplegament dels serveis d'Internet de banda ampla, tant a les llars com en els dispositius mòbils, així com el canvi cultural en la manera de veure la televisió, que avui no té res a veure amb com es feia fa deu anys. El televisor d'avui ja no és només un receptor d'un tipus concret de servei de telecomunicació, sinó que és una pantalla de projecció en la qual es poden projectar els continguts que ens arriben per antena, els que seleccionem per Internet o els que reproduïm des del nostre telèfon intel·ligent o des de la tauleta.

Per altra banda, es dona la paradoxa que l'eficiència en l'ús de l'espectre radioelèctric que aporta la TDT ha servit precisament per foragitar-la d'una banda de freqüències que tenia en exclusiva, per cedir-la a la quarta generació de telefonia mòbil LTE, que amb tota probabilitat també servirà per accedir a continguts multimèdia en alta definició i potser també en 3D, en clara competència amb la TDT.

I quan fa just tres anys de l'apagada analògica, i que abans de dos anys haurem de tornar a ajustar la capçalera de televisió de les nostres llars per adaptar-la al *dividend digital*, fa un any que ha sortit un nou estàndard de TDT, el DVB-T2, que no és compatible amb l'actual i que probablement obligarà a canviar el receptor, o a afegir-hi un altre *set-top box*, si és que volem accedir als continguts en HDTV i en 3D.

Tot i aquests grisos, als quals podríem afegir el fracàs del sistema interactiu MHP (*multimedia home platform*), el que és clar és que la TDT suposa un avanç tecnològic important quant a qualitat i eficiència en l'ús d'un bé escàs com és l'espectre radioelèctric, tot i haver de pagar el preu de la ruptura amb el sistema anterior i la pèrdua de la preuada compatibilitat. ■

## 8. Bibliografia

- [1] *Final Acts of the European Broadcasting Conference in the VHF and UHF bands*. Estocolm, 1961. Ginebra: International Telecommunication Union.
- [2] PLATEAU, Joseph Antoine Ferdinand. «Sur les couleurs accidentelles ou subjectives». Brussel·les, 1875. Reeditat per Ulan Press el 2012.
- [3] UNIÓ INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONS. «Características de las señales de vídeo compuestas para los sistemas de televisión analógica convencional». Recomanació UIT-R BT.1700. 2005.
- [4] UNIÓ INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONS. «Características de las señales radiadas de los sistemas de televisión analógica convencional». Recomanació UIT-R BT.1701-1. 2005.

- [5] UNIÓ INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONS. «Sistemas de teletexto». Recomanació UIT-R BT.653-3. 1998.
- [6] UNIÓ INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONS. «Transmisión de varios canales de sonido en sistemas de televisión terrenales PAL B, D1, G, H, I y SECAM D, K, K1 y L». Recomanació UIT-R BS.707-5. 2005.
- [7] ETSI. «Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers». ETSI EN 300 401 V1.4.1 (2006-06). European Standard (Telecommunications series).
- [8] ETSI. «Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television». ETSI EN 300 744 V1.4.1 (2001-01). European Standard (Telecommunications series).
- [9] Reial decret 2169/1998, de 9 d'octubre, pel qual s'aprova el Pla Tècnic Nacional de la Televisió Digital Terrestre.
- [10] UNIÓ INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONS. «Parámetros de codificación de televisión digital para estudios con formatos de imagen normal 4:3 y de pantalla ancha 16:9». Recomanació ITU-R, BT-601.
- [11] Reial decret 944/2005, de 29 de juliol, pel qual s'aprova el Pla Tècnic Nacional de la Televisió Digital Terrestre.
- [12] Reial decret 945/2005, de 29 de juliol, pel qual s'aprova el Reglament general de prestació del servei de televisió digital terrestre.
- [13] Ordre ITC/2212/2007, de 12 de juliol, per la qual s'estableixen obligacions i requisits per als gestors de múltiples digitals de la televisió digital terrestre i per la qual es crea i regula el registre de paràmetres d'informació dels serveis de televisió digital terrestre.
- [14] Resolució de 29 de novembre de 2005 de la Secretaria d'Estat de Telecomunicacions i per a la Societat de la Informació, per la qual es disposa la publicació de l'Acord del Consell de Ministres de 25 de novembre de 2005 pel qual s'amplia amb canals digitals addicionals el contingut de les concessions de les societats que gestionen el servei públic de televisió terrestre d'àmbit estatal i pel qual s'assignen els canals que formen part dels múltiples digitals en xarxes de freqüència única.
- [15] Ordre ITC/2476/2005, de 29 de juliol, per la qual s'aprova el Reglament tècnic i de prestació del servei de televisió digital terrestre.
- [16] Correcció d'errors del Reial decret 944/2005, de 29 de juliol, pel qual s'aprova el Pla Tècnic Nacional de la Televisió Digital Terrestre.
- [17] Reial decret 2268/2004, de 3 de desembre, del Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç, pel qual es modifica el Reial decret 439/2004, de 12 de març, pel qual s'aprova el Pla Tècnic Nacional de la Televisió Digital Local (BOE, 4 desembre 2004).
- [18] Reial decret 439/2004, de 12 de març, del Ministeri de Ciència i Tecnologia, pel qual s'aprova el Pla Tècnic Nacional de la Televisió Digital Local (BOE, 8 abril 2004).
- [19] ETSI. «Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)». ETSI EN 302 755 V1.1.1. (2009-09). European Standard (Telecommunications series).