

Transmisión de contenidos 3D sobre televisión digital (DVB)

3D TV Broadcasting over DVB-T/T2

Andrés Navarro Cadavid
anavarro@icesi.edu.co

Carlos Andredy Ardila
caardila@icesi.edu.co

Grupo de Investigación en Informática y
Telecomunicaciones - izt
Universidad Icesi, Cali-Colombia

Fecha de recepción: Mayo 2 de 2013
Fecha de aceptación: Junio 8 de 2013

Palabras clave

3D; 3D TV; DVB; DVB-T2; HD TV.

Keywords

3D; 3D TV; DVB; DVB-T2; HD TV; TV Broadcasting.

Colciencias **3**
tipo

La investigación base para la producción de este documento se desarrolló en el marco del proyecto Servicio universal en cooperación Colombia-España para sistemas de satélite de televisión (Success-TV), cofinanciado por Colciencias (Contrato No.087-2012), ejecutado por el Grupo de Investigación en Informática y Telecomunicaciones (izt), de la Universidad Icesi (Cali-Colombia).

Resumen

En 2019 finalizará la emisión de señales de televisión análoga en Colombia en favor de la Televisión Digital Terrestre [TDT]. Para entonces, se espera que los operadores y la teleaudiencia hayan adoptado por completo la nueva tecnología, y puedan disfrutar de sus beneficios y aprovechar sus oportunidades. Colombia, a partir de un riguroso estudio, consideró al estándar europeo DVB-T2 [Digital Video Broadcast – Terrestrial V2] idóneo para satisfacer las necesidades y expectativas del mercado local. Distintos aspectos y capacidades del estándar están siendo discutidos y analizados rigurosamente. Entre ellas, la transmisión de contenidos en tres dimensiones [3D], de manera que los televidentes que posean la tecnología requerida, puedan disfrutar de video estereoscópico de alta definición (HD), similar al que se observa hoy en las salas de cine 3D o IMAX. Este artículo explora las alternativas desarrolladas para brindar este servicio, recopila la información académica y comercial disponible, y explica los principios y técnicas que hacen posible la existencia de esta tecnología.

Abstract

During 2019, all transmission of analogical TV signals in Colombia will cease, favoring the new Digital Terrestrial Television [DTT] format. By then is to be expected that operators and audience had fully adopted this new technology, so its advantages and benefits could be fully exploited. After though examination and study, Colombian government has adopted the European standard DVB-T2 (Digital Video Broadcast - Terrestrial V2), considering it the most capable to satisfy the local requirements and expectations. Several aspects and services of this standard are still being toughly discussed, 3D content broadcast is one of them, so those who possess appropriate devices, could enjoy high definition stereoscopic video, just as it can be seen in a 3D or IMAX movie theater. This paper explores planned or already developed solutions to this challenge. It runs over the available academic and commercial information, as it explains the basic principles and techniques that make this technology possible in the first place.

I. Video en 3D

Desde que el hombre logró capturar la realidad mediante fotografías, se ha enfrentado al reto de acercar estas representaciones a lo que realmente ven sus ojos. Y ha sido un largo camino desde los primeros daguerrotipos hasta las sorprendentes escenas de la película Avatar del director James Cameron (Figura 1). Imágenes en color, imágenes en movimiento, imágenes que captan detalles más allá de lo que puede distinguir la retina humana; los adelantos tecnológicos del último siglo han logrado recrear con detalle más allá de la imaginación las maravillas del mundo y las fantasías de los artistas. Hay un reto que, sin embargo, ha desafiado las capacidades de los hacedores de ilusiones: reproducir fielmente la sensación de profundidad: la tercera dimensión.



Figura 1. Avatar (Cameron, 2009)

Los seres humanos tenemos la capacidad de determinar que un objeto está más cerca o más lejos que otro, gracias a la pequeña separación de unos cuantos centímetros entre nuestros ojos. Cada ojo envía al cerebro una imagen, ligeramente distinta, para ser decodificada; y éste, utiliza esta información para proyectar en nuestra corteza cerebral la distancia a la que se encuentran ubicados los objetos de nosotros y entre sí, a lo largo de un tercer eje espacial. Por supuesto, también somos capaces de inferir la distancia de los objetos en una imagen de solo dos dimensiones (2D), pero para poder *sentir* realmente la profundidad en una escena que ha sido grabada en video, necesitamos que cada uno de nuestros ojos vea simultáneamente (o casi simultáneamente) lo que cada ojo hubiese visto de encontrarse presente durante el desarrollo de dicha escena. Esto suele implicar –aunque no necesariamente–, la captura de dos videos de manera simultánea, usando cámaras especiales, similares a las mostradas en la Figura 2.



Figura 2. Cámara estereoscópica Sony, usada en eventos deportivos

Por otro lado, para lograr que cada frame sea presentado al ojo indicado, en el momento apropiado, existen diversos métodos, algunos (si bien, rudimentarios) datan de hace más de un siglo. A continuación se describen los más relevantes.

A. Lentes pasivos

La manera más sencilla de observar imágenes en 3D es mezclando una con la otra, de tal manera que, mediante el uso de lentes especiales, cada ojo pueda filtrarlas *ignorando* la parte que le corresponde al otro; como el cerebro solo puede procesar una imagen a la vez, interpretará que los objetos en una y otra son el mismo. El punto en que los ojos enfocan será siempre la pantalla del dispositivo que representa el video, esto es lo que crea la ilusión de profundidad. Pero ¿de qué forma se logran proyectar las imágenes al mismo tiempo, de manera que puedan ser separadas después? Dos técnicas se utilizan actualmente, una de ellas desde hace más de cien años.

1) Anáglifos

El nombre proviene del griego *Anáglyphos* y se refiere a las esculturas en bajo relieve que adornaban los templos Griegos de la época clásica. La técnica consiste en substraer de una de las dos imágenes el color rojo y de la otra el verde y el azul, para luego juxtaponer ambas imágenes en una sola (Dubois, 2001). Cuando la imagen resultante es observada por un par de lentes con filtros opuestos: rojo, para el ojo izquierdo, y otro color de contraste, usualmente verde, azul o una mezcla de ambos (*cyan*) para el ojo derecho, se produce un efecto de *compensación* en la corteza cerebral, de tal manera que el ojo izquierdo percibe el rojo como *blanco* y el *cyan* como *negro*, logrando que las variaciones entre un color y otro sean percibidas a su vez como variaciones entre claro y oscuro. Esto hace que cada ojo ignore las zonas con mayor presencia del color del filtro de su respectivo lente, efectivamente mostrando imágenes distintas a cada uno. Una explicación gráfica de esta técnica se muestra en la Figura 3 y una imagen resultante en la Figura 4.

El resultado funciona, aunque de manera poco convincente, dada la evidente pérdida de calidad en las imágenes resultantes. Esto evitó que el video 3D se hiciera popular en los años 80. Sin embargo, esta técnica sigue siendo la más sencilla de implementar y ha experimentado un resurgimiento, durante los últimos años, como consecuencia de la oferta de una vasta cantidad de contenidos en este formato a través de sitios web de video, como youtube.com y vimeo.com. Existen además aplicaciones para las cuales

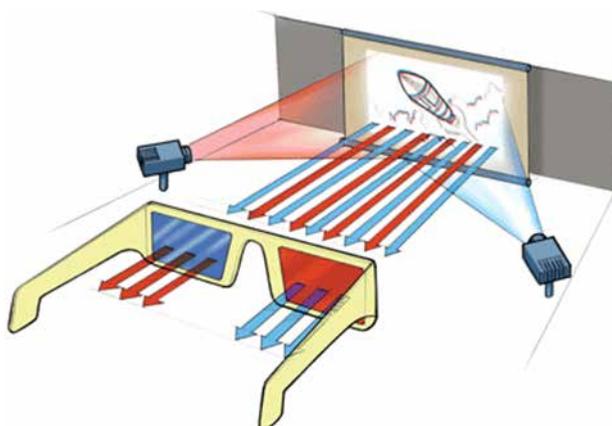


Figura 3. Uso de anáglifos



Figura 4. Imagen 3D usando anáglifos

.....
sigue siendo apropiado usar una técnica de bajo costo y complejidad, tales como los libros de texto y multimedia, que contienen gráficos científicos y matemáticos.

Por otra parte, gracias al renovado interés en los anáglifos, se han logrado importantes mejoras que, si bien no eliminan completamente su pérdida de calidad y otros efectos negativos –tales como imágenes duplicadas superpuestas con un pequeño desfase o *ghosting* (Figura 5) e imágenes que simplemente son ignoradas por alguno de los dos ojos (*retinal rivalry*) (Wade, 1996)–, sí logran reducirles considerablemente y convierten así a esta técnica en una importante alternativa para desplegar servicios de transmisión en 3D de bajo costo, por lo menos en etapas iniciales. Algunas de estas mejoras son:

- » *Inficolor*. Utiliza lentes con un tono especial de *magenta*, en lugar de rojo, y un tono especial de verde, en lugar de *cyan* (Figura 6); asimismo un procesamiento digital propietario de las imágenes, que logra una experiencia muy similar a la alcanzada



Figura 5. Ghosting: una imagen residual altera la principal



Figura 6. Lentes INFICOLOR, 30 euros



Figura 7. Imagen INFICOLOR

.....

con técnicas más complejas (TrioViz, 2010) que inclusive se puede ver de manera más tolerable si no se cuenta con los lentes especiales (Figura 7). Su uso se ha limitado a los juegos para computador, pero recientemente se ha comenzado a ofrecer una solución para generar el contenido de manera automática diseñado para los operadores de televisión.

- » *ColorCode3D*. Es otra tecnología propietaria que utiliza *ámbar* (rojo + verde + gris natural) para el lente izquierdo y azul oscuro para el derecho (Figura 8). La imagen resultante es más oscura, por lo que se requiere compensar, previamente, el brillo de la imagen (Figura 9). Además utiliza una corrección negativa (-0.7) en el lente derecho para compensar la aberración cromática (Figura 10) derivada del uso del azul, puesto que el ojo humano es menos sensible a este color (Tridelta Group, 2010). La técnica de producción de contenido está patentada y requiere un pago de 300 euros por minuto. También hay un servicio de generación de contenido en vivo, que asegura la distribución de contenido a 1080p, con precios similares. Los lentes () son distribuidos por la compañía y van desde 0,32 euros hasta 16 euros en la versión Premium con corrección del ojo derecho (ColorCode 3D, 2012).
 - » *Magenta-Cyan*. La utilización de esta variación ha sido investigada desde hace varios años y puede constituir una alternativa viable a las soluciones propietarias expuestas ya que, si bien carece de su sofisticación, representa un avance notorio sobre los métodos tradicionales de anáglifos (Röthlin, 2007). Con los lentes rojo-cyan, un ojo filtra un color primario (rojo), mientras el otro filtra dos colores combinados (verde y azul), esto permite que los filtros no se sobrepongan
-



Figura 8. Lentes ColorMode 3D



Figura 9. Imagen ColorMode3D



Figura 10. Aberración cromática: la zona de la cornisa se mezcla con el cielo

evitando el efecto de *ghosting*. Esto sin embargo produce el efecto de *retinal rivalry*, mencionado; para reducirlo se debe proveer a cada ojo con información cromática equivalente, para ello, se introduce un poco de azul en el filtro rojo, formando el color magenta. Para evitar el *ghosting* resultante, se difumina horizontalmente el canal azul de cada imagen, previamente, usando como parámetro de dispersión la distancia promedio entre los objetos de ambas imágenes (Lobel, 2009). Debido a la baja sensibilidad del ojo a dicho color, la reducción en la definición de la imagen es prácticamente imperceptible.

2) Lentes Polarizados

Utilizando un principio similar a los anáglifos, pero de mayor sofisticación, se ha logrado finalmente masificar el cine 3D. Para lograrlo se utiliza un proyector para la vista del ojo izquierdo y otro para el derecho, ambos despliegan ambas imágenes sobre una pantalla similar a las pantallas regulares de las salas de cine (*silver screen*) pero con más ganancia –capacidad para reflejar la luz–. Cada proyector emite la señal luminosa con una polarización –propiedad de las ondas que describe la orientación de sus oscilaciones en un espacio tridimensional (Murphy, Spring, & Davidson, 2012)– inversa al otro (Figura 11). El procedimiento se describe gráficamente en la Figura 12. Cada lado de los lentes usados por los observadores del video tiene un filtro de polarización pasivo correspondiente a las ondas de luz de la imagen que se corresponde al otro ojo (Figura 14). Las imágenes resultantes aparecen distorsionadas y sobreiluminadas (Figura 13); esta compensación es necesaria debido a la pérdida repetida de componentes de luminosidad causada por los filtros de polarización.

Esta técnica elimina prácticamente las pérdidas de color, y otros problemas asociados al uso de anáglifos; sin embargo, tiene una limitante: el observador debe conservar su cabeza orientada paralelamente a la pantalla, pues si la inclina hacia un lado, el principio de polarización falla. De la misma forma, la experiencia de visualización se deteriora si la persona se encuentra en un ángulo muy pronunciado del centro de la pantalla. Para resolver esta situación, algunos lentes usan polarización circular, que utiliza filtros más

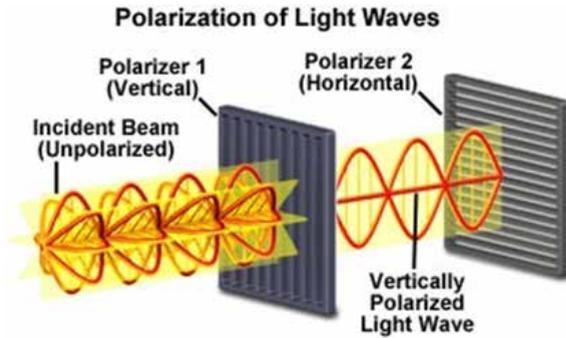


Figura 11. Fenómeno de polarización de la luz. El polarizador filtra las ondas que luego serán plenamente ocultadas en los lentes del observador

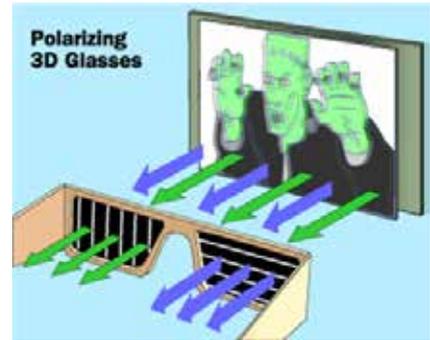


Figura 12. Los lentes polarizados permiten que solo una de las imágenes llegue a cada ojo



Figura 13. Imágenes izquierda y derecha con polarización inversa. La iluminación extra compensa el oscurecimiento ocasionado por los lentes polarizados

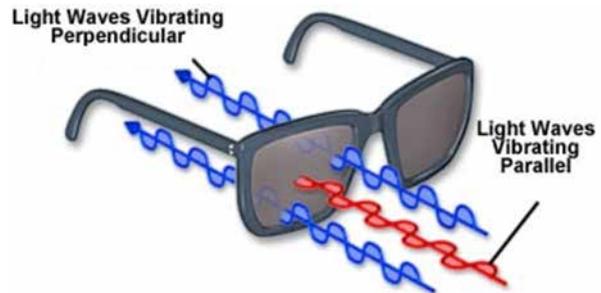


Figura 14. Lente con polarización horizontal solo permite el paso de las ondas con polarización vertical

avanzados, lo que permite mantener la separación de las imágenes, pero compromete, hasta cierto punto, el efecto 3D, causando mareos a algunos observadores. La utilización de una u otra técnica suele crear incompatibilidad entre los lentes usados en salas de cine de distintas empresas.

El uso de este sistema en hogares está en proceso de implantación. Los principales fabricantes de estos dispositivos han sacado al mercado, durante 2011, televisores que adaptan los principios de polarización de la luz a las pantallas LCD y LED. El más sencillo consiste en colocar filtros inversos del tamaño de una línea de resolución intercalados a lo largo de la pantalla, esto sin embargo reduce la resolución efectiva para los programas 3D. También es posible usar dos pantallas superpuestas, aunque esto incrementa el consumo de energía y el costo total del dispositivo.

B. Lentes activos – shutter

En el video convencional se despliega un número determinado de imágenes en una sucesión tan rápida, que le hace creer al ojo humano que observa una escena real. A la velocidad a la que el dispositivo de visualización cambia la imagen se le llama tasa

o *frecuencia de refresco*. El ojo humano necesita de una frecuencia mínima de 40 Hz, equivalentes a unos 24 o 25 cuadros (*frames*) mostrados dos o tres veces cada segundo, para observar una escena fluidamente. Dependiendo del estándar analógico utilizado (i.e., PAL, NTSC o SECAM), las frecuencias usadas en transmisiones de televisión son 50 o 60 Hz. Estos valores están relacionados, a su vez, con la configuración de las redes eléctricas de cada país.

Si la frecuencia de refresco está muy por encima de estos valores, el ojo humano simplemente descarta los cuadros que no logra procesar a tiempo, antes de enviarlos al cerebro. Aprovechando esta característica, es posible recrear el efecto 3D proyectando las imágenes del ojo izquierdo y derecho de manera intercalada, duplicando la velocidad de refresco (a 100 Hz, por ejemplo), e impidiendo que cada ojo vea la imagen destinada al otro (Figura 15). Para lograrlo, se utilizan lentes con la capacidad de bloquear de manera intermitente el paso de la luz (*shutter glasses*).

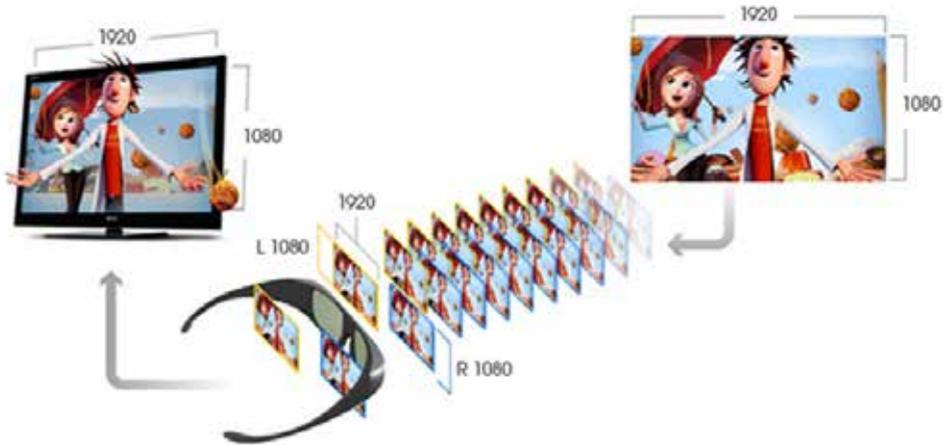


Figura 15. Funcionamiento de los lentes "shutter"

Estos lentes tienen una serie de requerimientos especiales. Por ejemplo, la tecnología para oscurecer los lentes requiere energía eléctrica, ya que están hechos de cristal líquido. También necesitan sincronizar la frecuencia del *parpadeo* con la del refresco de la pantalla; esta sincronización debe ser muy precisa y requiere su verificación a intervalos regulares, por lo cual, estos lentes deben disponer de un sistema de comunicaciones de corto alcance, usualmente Bluetooth o rayos infrarrojos (IR). Por lo general, su costo es mucho mayor al de los polarizados o anáglifos, son más pesados y, en algunos casos, incompatibles con los lentes formulados para tratar afecciones de la vista, particularmente en las personas de edad avanzada.

Los televisores que usen esta tecnología deben tener una frecuencia de al menos 120 Hz; sin embargo, aun esta capacidad puede resultar insuficiente para disfrutar plenamente escenas con mucho movimiento, como los eventos deportivos o las películas

de acción. La capacidad deseable en un monitor 3D es de 240 Hz, pues en caso contrario se puede presentar un efecto de parpadeo (*flicker*) entre las imágenes, similar al que se aprecia en las películas de los años 20, que puede llegar a causar mareos y dolores de cabeza a los observadores.

Procesar el doble de cuadros por segundo, implica mayores requerimientos para el hardware del dispositivo, más aún cuando la demanda por tasas de refresco, cada vez más altas, está en aumento: durante 2013 se estrenarán películas largamente esperadas como las secuelas de *Avatar* (Cameron, 2009) y *El Hobbit* (Jackson, 2012), que requieren tasas de 48, 60 y 120 fps (Carter, 2012). Además, los lentes usualmente solo funcionan adecuadamente con la pantalla para la que fueron diseñados, lo que hace todavía más costosa la solución.

Por una parte, se trata, hasta el momento, de la alternativa que produce mejores resultados en términos de calidad de imagen y experiencia de visualización. Es apropiada tanto para televisores como para monitores de computador (Woods & Yuen, 2006); y es previsible que nuevos desarrollos (JVC, 2011) y esfuerzos en la estandarización de los mecanismos de comunicación, como el surgimiento del estándar M-3DI (Alonso & Bailer, 2011), una iniciativa de Panasonic Corporation y XpandD 3D; la mantengan como primera opción por varios años más.

C. Técnicas auto-estereoscópicas

Por supuesto, el objetivo último de la visualización de contenido en 3D, es poder disfrutarlo sin necesidad de lentes. Una técnica óptima, que recree fielmente la experiencia de la realidad y ofrezca, por lo menos, el mismo nivel de calidad de los métodos que, con lentes, no ha sido plenamente desarrollada, ni está al alcance del público. Sin embargo, existen distintos desarrollos que merecen ser mencionados y tomados en cuenta en el estudio de Urey, Chellappan, Erden y Surman (2011).

Una aproximación inicial consiste en colocar una barrera de paralaje –desviación aparente de un objeto, dependiendo desde dónde se le mire, que le permite a un observador ver alrededor de los objetos en una pantalla al mover o girar su cabeza–, paralela a la pantalla (*Parallax Barrier*) que oculte ciertas zonas de la misma a uno de los ojos, cuando se le mira desde cierto ángulo. El otro ojo observa desde un ángulo ligeramente distinto, por lo que ve las zonas que están ocultas para su compañero, pero evita las que éste percibe (Figura 16). Usualmente la barrera está hecha de cristal líquido, por lo que las columnas que bloquean la imagen pueden volverse completamente transparentes cuando se despliega video en 2D.

Una mejora esencial a éste método consiste en colocar la barrera entre los píxeles y la fuente de luz (backlight), enviando distintos haces de luz a cada ojo y permitiendo el reflejo de ambos canales de luz sobre todos los píxeles. De esta forma, se mejora la calidad de la imagen y se incrementa el ángulo apropiado de visión. Éste es el método utilizado por los dispositivos Nintendo 3DS, HTC Evo 3D, LG Optimus 3D, Fujifilm FinePix Real 3D y similares.

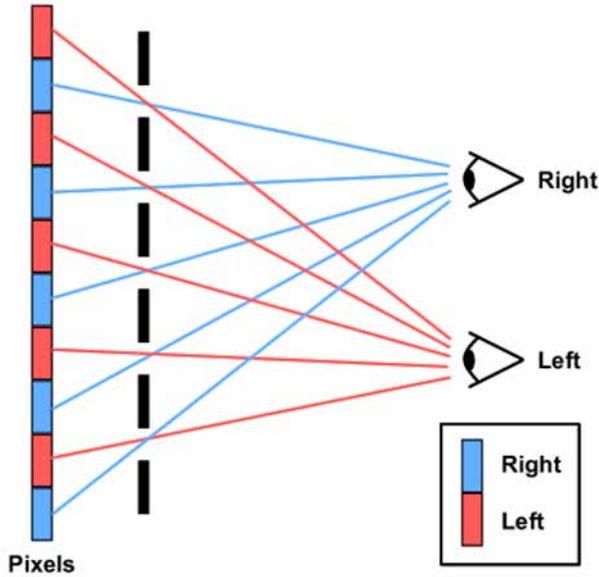


Figura 16. Operación de una barrera de paralaje

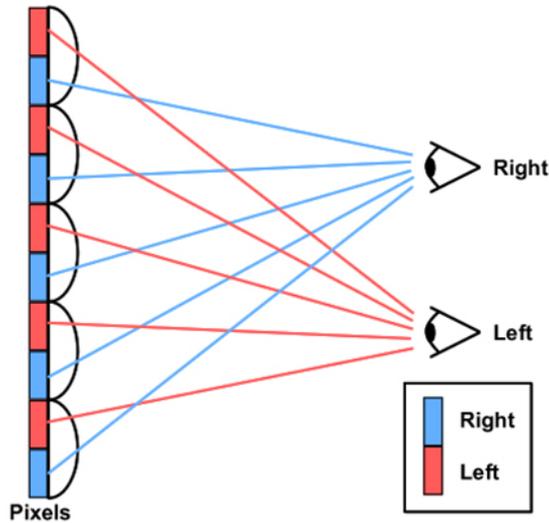


Figura 17. Operación de lentes lenticulares

Una técnica similar consiste en usar una segunda pantalla compuesta por un arreglo de lentes lenticulares cilíndricos que magnifican ciertas zonas de la imagen sobre la que están puestos, cuando ésta se mira desde distintos ángulos (Figura 17). Pantallas de este tipo son empleadas como accesorio para los dispositivos iPhone, en el 2DeeSlide (Spatial View, 2012) y en algunos televisores fabricados por Philips (WOWvx Line) y Toshiba.

Desafortunadamente, estos métodos implican una pérdida de la resolución original y una limitada cantidad de posiciones (ángulo y distancia) desde las que se puede apreciar

el efecto 3D (ver Figura 18), por cuenta de las zonas de imagen invertida e imagen mezclada (*ghosting*), en las que los observadores verían imágenes con efectos negativos como los descritos en secciones anteriores.

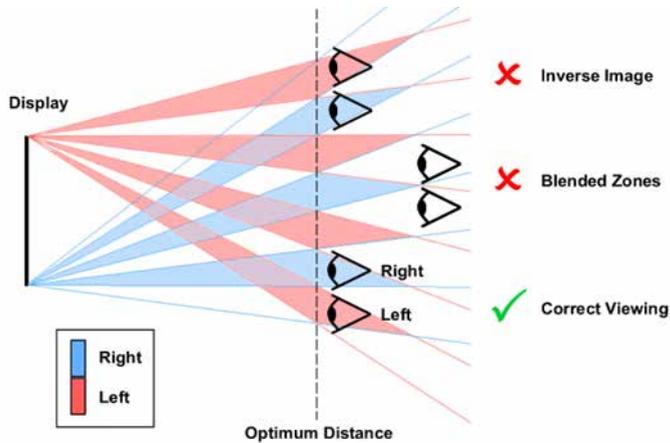


Figura 18. Problemas asociados a las pantallas autoestereoscópicas

Una aproximación más avanzada consiste en utilizar micro-lentes organizados en una cuadrícula (*grid*) que muestren una imagen distinta dependiendo del ángulo y distancia desde la que se le observe (Figura 19). A diferencia de los lentes lenticulares, el efecto estéreo puede apreciarse desde distintos puntos, si bien con un ángulo de visión limitado. A esta técnica se le conoce como imágenes integrales (*integral imaging*) y ha sido utilizada para desarrollar dispositivos como el Integral 3D TV del NHK Science & Technology Research Laboratories de Japón, que usa 400 lentes horizontales y 250 verticales, con una resolución de 4K (7680x4320 pixels); ofreciendo hasta 8 puntos de visión de 24 grados de amplitud (Arai et al., 2010).

Otro desarrollo importante es el uso de cámaras para localizar la posición del observador, con el fin de utilizar esta información para variar la dirección de la emisión de luz o la polarización de las pantallas paralelas, o para alterar cualquier otro parámetro

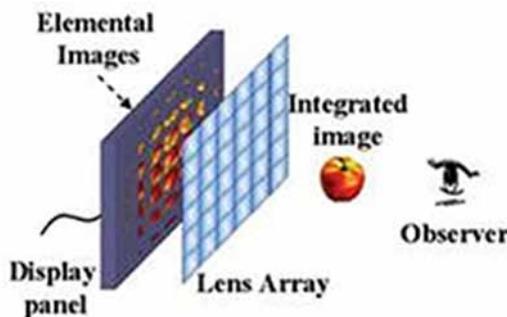


Figura 19. Integral Imaging

que permita conservar el efecto 3D aun cuando el observador se mueva. El televisor Toshiba 55ZL2G (Martín, 2012) y el Kinect 3D utilizan este sistema.

Por su parte, el MIT [Massachusetts Institute of Technology] Media Lab, ha elaborado sobre el concepto de las barreras de paralaje, desarrollando HR3D (*High-Rank 3D*), una barrera adaptativa al contexto, que en lugar de generar zonas de oscurecimiento estáticas, crea un patrón de filtrado adaptado a cada cuadro estereoscópico (Figura 20), de manera que el observador logra apreciar el efecto estereoscópico independiente del punto de vista, manteniendo la información de paralaje vertical y horizontal (Lanman, Hirsch, Yunhee, & Raskar, 2010).

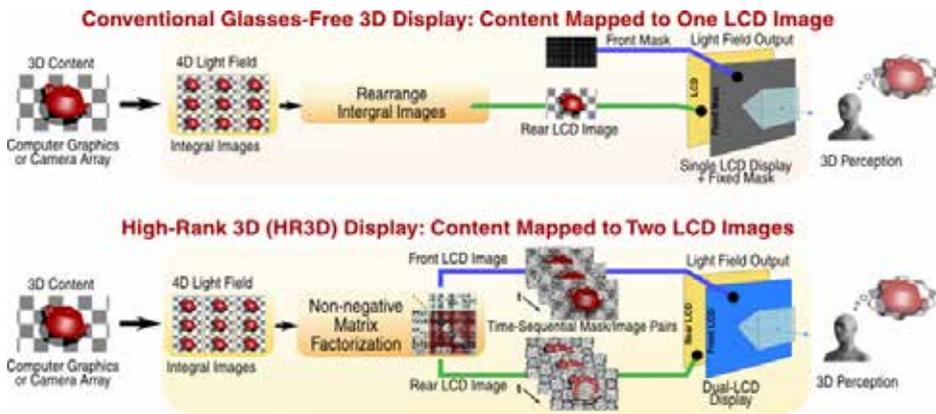


Figura 20. High-Rank 3D

Al caracterizar los haces de luz dependiendo de la información visual que transmitan y bloqueando la menor cantidad de luz posible, es posible utilizar hasta tres veces menos energía eléctrica y alcanzar una mayor tasa de bits (*bit rate*), lo que se traduce en una mayor calidad de imagen. Para lograrlo, el sistema utiliza dos pantallas LCD con una tasa de refresco de 120Hz, y requiere de una elevada capacidad de cómputo para calcular las imágenes apropiadas para cada una. Están contempladas, sin embargo importantes mejoras en la eficiencia de los algoritmos (Lanman et al., 2010).

El desarrollo de sistemas auto-estereoscópicos es un área de constante desarrollo; los fabricantes invierten gran cantidad de recursos en investigación relacionada. Sistemas holográficos y multi-vista, que preservan la sensación de profundidad asociada al movimiento de los objetos con respecto al observador, parecen ser el futuro de esta tecnología, sin embargo, por ahora, las soluciones existentes parecen estar limitadas a los dispositivos personales y a equipos de elevadísimo costo (por encima de los 5000 euros).

II. Formatos de distribución de video 3D

Sin importar el método utilizado para desplegar el contenido en la pantalla –o para visualizar el resultado– el flujo de video estereoscópico debe contener información suficiente para generar la vista correspondiente a cada ojo, para cada cuadro. La manera

más sencilla de lograrlo es almacenando cada componente en un archivo separado. Esta técnica, sin embargo, duplica los requerimientos de espacio de almacenamiento y ancho de banda hasta el punto de hacerla inadecuada para prácticamente todas las aplicaciones orientadas al usuario final, como los discos digitales *Blu-ray*, y por supuesto la Televisión Digital Terrestre [TDT].

Por este motivo se han desarrollado diversas técnicas para distribuir el contenido 3D usando la menor cantidad de recursos posibles tratando de preservar la calidad del material original. Lograr un equilibrio entre estos dos requerimientos no es una tarea fácil, particularmente con la constante demanda de imágenes con mayor resolución y videos con altas tasas de refresco (más cuadros por segundo).

La Figura 21 muestra una comparación de las resoluciones de video usadas en la industria. La *p* indica *progressive scan* (escaneo progresivo); significa, simplemente, que todas las líneas horizontales de la imagen son almacenadas, transmitidas y desplegadas sobre una pantalla, contrario al *interlaced scan* o escaneo entrelazado, que consiste en desplegar las líneas horizontales impares de un cuadro y las líneas horizontales pares del anterior; para el siguiente cuadro, son las impares las que permanecen y las impares las que se refrescan (Figura 22) (Bramson & Sterling, 2007). El entrelazado aprovecha

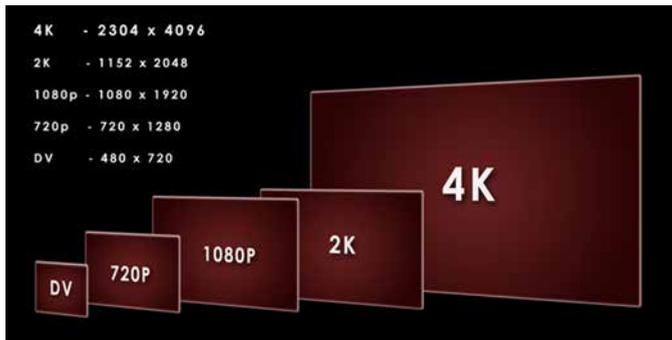


Figura 21. Comparación de resoluciones estándar de video

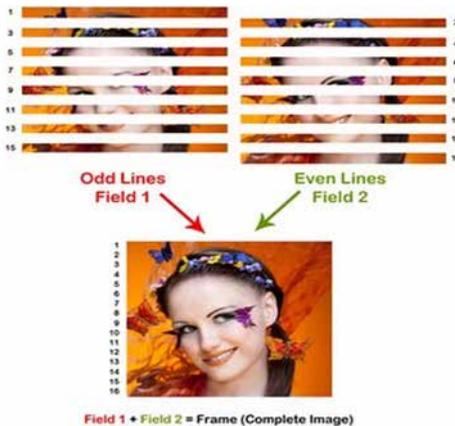


Figura 22. Interlacing. Reduce el ancho de banda requerido a la mitad

el fenómeno de *persistencia de la visión*: la retina humana retiene $1/25$ de segundo cada imagen que observa, por lo que si una segunda se le presenta en este intervalo de tiempo, el cerebro usa información de las dos para formar la imagen final. Esta técnica permite reducir el ancho de banda necesario en un 50%, lo que puede ser utilizado para aumentar la resolución temporal, por ejemplo, de 30 a 60 fps. El *precio a pagar* es la incidencia de un fenómeno conocido como *inteline twitter*, una especie de parpadeo continuo en las secciones de la imagen con líneas rectas como edificios de ladrillo, aceras y calles, que puede provocar fatiga visual y dolores de cabeza. Para reducir este efecto, se suele realizar un difuminado o *blurring* entre las líneas conocido como *anti-aliasing*, que disminuye aún más la calidad de la imagen. Por otra parte, como muchos dispositivos (pantallas LCD, DLP o plasma) no soportan este formato, se requiere un proceso inverso llamado *de-interlacing* para crear cuadros aptos para el escaneo progresivo. Esto deriva en efectos negativos como el *combing*, cuando los píxeles de un cuadro no se alinean con los del siguiente (Figura 23). A la relación entre el ancho y el alto de cada cuadro se le llama *aspect ratio*, y a excepción de DV, dónde esta relación es de 4:3, la estándar es 16:9.



Figura 23. Combing causado por el movimiento entre los dos campos de un cuadro

A continuación se describen los formatos de distribución de video o *frame-packing* más relevantes. El término se refiere al concepto de *empaquetar* los cuadros izquierdo y derecho para su almacenamiento o distribución (Best 3DTV, 2012).

A. Frame-sequential

Este método consiste en intercalar los cuadros del ojo izquierdo y derecho; un cuadro destinado a un ojo, el siguiente para el otro (ver Figura 24). Es uno de los formatos soportados por los discos *Blu-ray*, y permite aprovechar hasta cierto punto las capacidades de compresión MPEG-2/4; además de ser directamente compatible con los lentes *shutter*. Por otra parte, no se trata de un formato usado comúnmente para transmisiones de televisión por el incremento en los requerimientos de ancho de banda y a la incidencia del fenómeno de *flicker* o parpadeo.

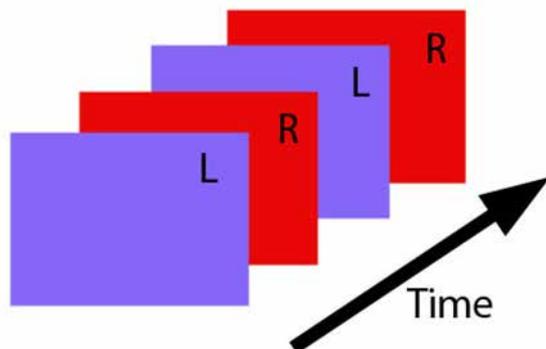


Figura 24. Formato frame-sequential o intercalado

B) Frame-compatible

En segundo lugar, se encuentran las técnicas que buscan lograr la mayor compatibilidad con el hardware ya desplegado en el mercado. Esto implica no exceder los anchos de banda usados por las transmisiones regulares, ni modificar o aumentar significativamente los requerimientos de capacidad de cómputo de los equipos que ya poseen los usuarios. Estos métodos son bastante populares entre los fabricantes; son sencillos de implementar y, desafortunadamente, los que más comprometen la calidad del material.

El principio básico consiste en combinar en un solo cuadro (*frame*) de video de resolución estándar, como 720p, la información de las vistas izquierda y derecha antes de cualquier proceso de codificación o multiplexación. Pero, para lograrlo es indispensable que parte de la información de cada imagen tenga que descartarse.

El formato más extendido es el llamado *Side-by-side* o *lado a lado*, que consiste en reducir cada vista a la mitad de su tamaño horizontal mediante técnicas de redimensionamiento anamórfico, para luego crear un solo *frame* con los dos cuadros resultantes, uno al lado del otro (Figura 25). Las imágenes resultantes pueden ser codificadas con cualquier técnica de compresión estándar (MPEG-2 o MPEG-4) y multiplexadas en un *Transport Stream* (TS) para su transmisión sobre los medios convencionales. Los dispositivos o programas de software deben añadir un paso más al proceso de decodificación: cortar el cuadro por la mitad y regresar cada vista a su tamaño original. Los dos cuadros resultantes pueden ser presentados al observador con alguno de los métodos descritos en la sección *Video en 3D*

Este formato es el usado por las transmisiones comerciales mencionadas en la sección *Experiencias en otros países*. Su popularidad radica en que basta una simple actualización en el software del dispositivo o *firmware*, para proveer de funcionalidad 3D a los receptores existentes; no consume ancho de banda adicional y, en pruebas iniciales, se ha determinado que una buena parte de los observadores tienden a ignorar la pérdida de calidad resultante.

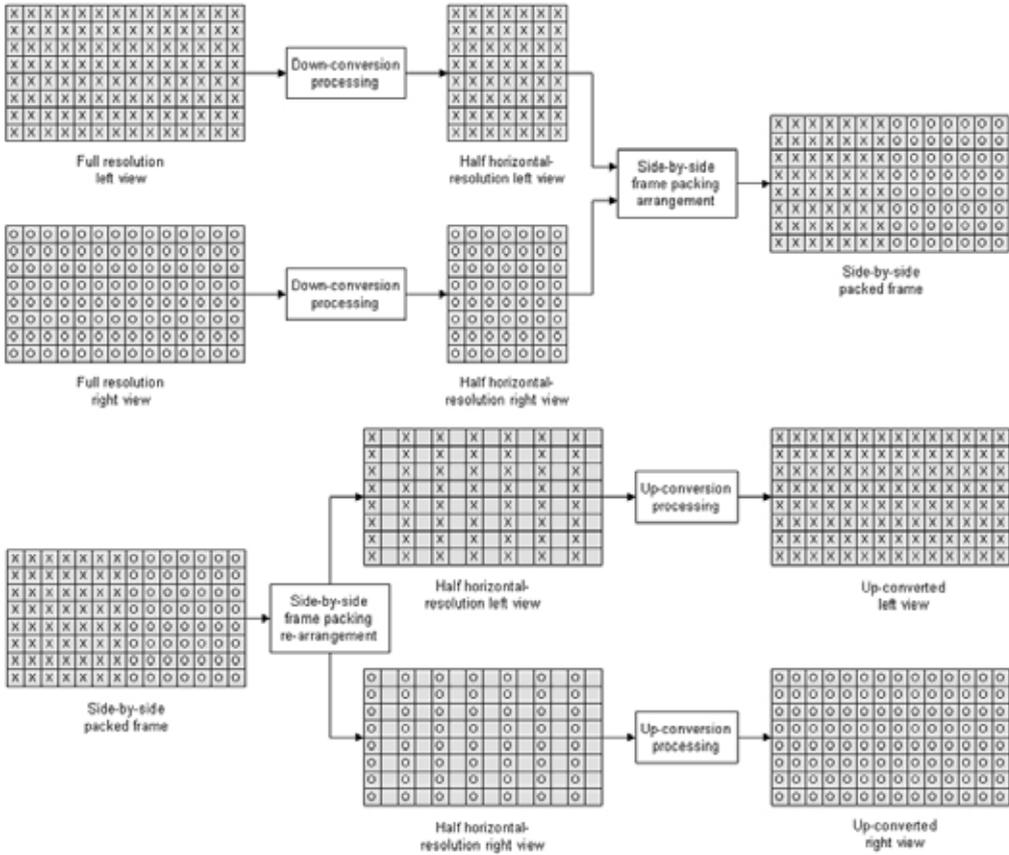


Figura 25. Descripción gráfica del formato Side-by-side

Existen otros formatos que se adhieren al mismo principio de compatibilidad, descartando información de cada vista con el fin de crear un solo cuadro que contenga a las dos (Figura 26). El método complementario a *Side-by-side* es el llamado *Over-Under* o *Top-and-Bottom* que apila las vistas, una sobre la otra, luego de haberlas reducido a la mitad de su resolución vertical. Este formato es recomendado sobre el anterior para resoluciones de 720p y 1080p, en la especificación ofrecida por CableLabs™, un proyecto norteamericano que busca estandarizar los formatos y mecanismos de distribución de contenido para operadores de cable desde 1997. De la misma se forma, desaconseja firmemente su uso para videos en formato entrelazado (*interlaced scan*) como 1080i. Esto tiene sentido puesto que en dicho formato ya se ha reducido la resolución vertical en un 50%, por lo que una segunda reducción, para ajustarlo al formato 3D, daría como resultado una degradación espacial: cuadros de 1920×260 frecuencia 59.94Hz por ojo, o una degradación temporal: 1920×540 frecuencia 29.97 Hz, en las cuales se perdería la mitad de la información del movimiento (CableLabs, 2010).

De otro lado, el formato *Full HD 3D*, que hace parte de la especificación para el contenido Blu-ray, consiste en una secuencia de *frames* que contengan ambas vistas

organizadas a la manera del formato *Top-and-Bottom*, pero sin modificar la resolución de los cuadros originales. Además deben separarse por una zona en blanco de 1920x45 pixeles (ver Figura 27), para una resolución total de 1920x2205 con un *framerate* de 24fps, por lo que no se le puede considerar *frame-compatible* con la mayoría de los dispositivos para recepción de TDT actualmente utilizados.

El formato *row-interleaved* consiste en intercalar las líneas horizontales de ambas vistas; es apropiado para su uso con algunas pantallas polarizadas que utilizan lentes pasivos, como iZ3D o Zalman. En el formato *column-interleaved*, son las líneas verticales las que se intercalan; se usa en sistemas auto-estereoscópicos como el Nintendo 3DS y el Fuji FinePix W3 (DreamScene.org, 2010).

El formato *Checkerboard* está siendo utilizado con éxito en los televisores DLP 3D HDTV patentados por Texas Instruments™ usando lentes *shutter* de manera nativa, aseguran preservar tanto la resolución vertical como la horizontal (Hutchison, 2007).

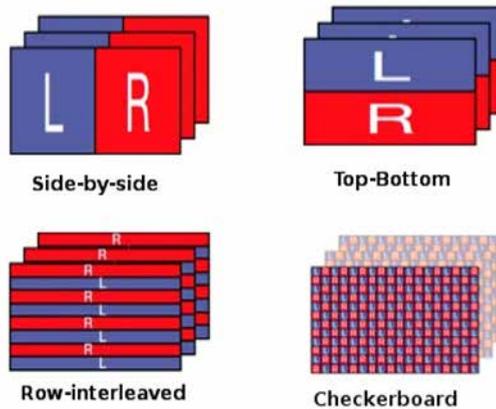


Figura 26. Distintos formatos frame-compatible

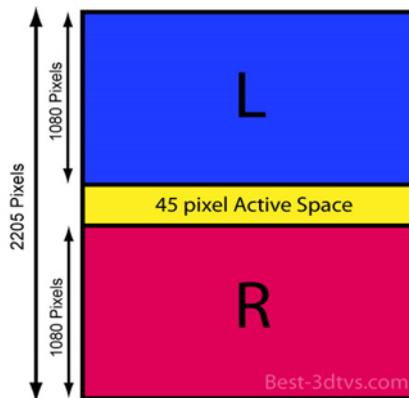


Figura 27. Formato FHD3D soportado en HDMI 1.4

Un desarrollo reciente que busca mantener la resolución original del video 720p es el *Frame Slicing Format* de Sisvel Technology, que consiste en incluir ambas vistas en un solo cuadro estándar 1080p (Figura 28). Por supuesto, el receptor debe reconocer este arreglo y extraer ambas vistas para presentarlas como contenido 3D y no como contenido Full HD (1080p). Para garantizar esto, se requiere que los receptores puedan decodificar MPEG-4 H.264 (Ver Sección *Múltiples Vistas – Multiview (H.264/MVC)*); el cual establece un parámetro opcional *SEI* llamado *cropping rectangle* (rectángulo de recorte), que delimita la sección del cuadro que se debe mostrar en la pantalla o monitor (por defecto es toda el área disponible). De esta manera se garantiza que los receptores HD que no tengan capacidad 3D, todavía puedan desplegar el contenido sin necesidad de cambios en el firmware (Pennisi, 2011). Este formato ha sido adoptado por dos operadores europeos, siendo el último Città Digitali en Lucca, Italia (Briel, 2011), pero su implementación, aún está en etapa temprana.

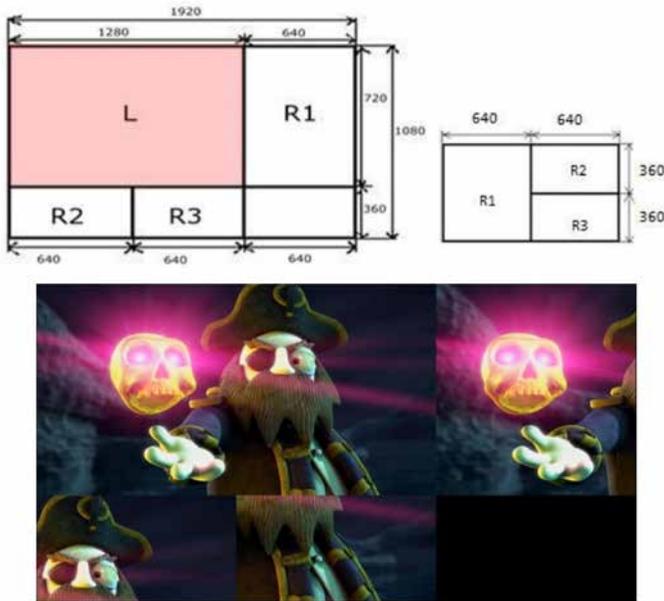


Figura 28. *Frame slicing* o *Tile format*. La vista izquierda se conserva y es lo único que despliega un receptor MPEG-4

C) 2D+Something

Utilizar formatos que conserven la compatibilidad con el hardware existente es razonable por un periodo de tiempo, pero, eventualmente, el desarrollo de técnicas más avanzadas obligará a realizar actualizaciones importantes con el fin de brindar mayores prestaciones. En el caso de los formatos de video 3D, existe una línea de investigación centrada en encontrar métodos para transmitir una vista *principal*, en este caso la del ojo izquierdo, junto a otra vista *suplementaria*, que permita reconstruir la vista del ojo derecho; ambos flujos pueden codificarse de manera extremadamente eficiente usando

codificadores de video de última generación. Se les conoce como *2D más algo*, puesto que hay diversas opciones sobre lo que este *algo* adicional puede ser. Si el receptor posee la capacidad de identificar esta segunda vista, puede realizar el proceso de reconstrucción en tiempo real; en caso contrario, simplemente ignorará la información adicional y desplegará la vista base. A continuación se presenta el estado del arte en los dos formatos más relevantes.

1. 2D+Depth

Este método consiste en transmitir, junto a cada cuadro del ojo izquierdo, un cuadro que contenga un valor asociado a la profundidad (*depth*) de cada pixel, con respecto al observador. No hay una medida estándar para este valor, pero es claro que tiene un rango limitado, lo suficiente para representarse en la escala de grises básica (256 valores de negro a blanco). Este tipo de imagen puede ser comprimida de manera extremadamente eficiente, por lo que el tamaño resultante de esta vista adicional puede ser entre 5 y 20% el de la vista principal (ver Figura 29). Esta información puede obtenerse para escenas en vivo mediante una cámara híbrida dotada de un radar láser. Pero usualmente se obtendría a partir del proceso de conversión de video existente al formato 3D (Vetro, Tourapis, Member, Müller, & Chen, 2011). Dada la enorme cantidad de material que será sometido eventualmente a este proceso (la demanda por los artículos *viejos* pintados de *nuevos* es inagotable), la utilización de este formato ofrece su propio potencial. El estándar MPEG ha adicionado una extensión para soportar este formato, mediante en el uso de mensajes AVSI (Información suplementaria para video auxiliar) para informar a los decodificadores que existe un flujo de video complementario que contiene la información de profundidad para el flujo principal (ISO/IEC, 2007).



Figura 29. Frame HD con su mapa de profundidad asociado

El formato original fue desarrollado dentro de Philips 3D Solutions, para su línea de televisores auto-estereoscópicos WOWvx (Redert et al., 2006). Sin embargo, el uso de un simple mapa de profundidad no permite manejar fenómenos visuales comunes, tales como la presencia de objetos semitransparentes en la escena o el de oclusión, que ocurre cuándo un objeto bloquea parcialmente a otro.

Para subsanar estas desventajas, 3D Solutions desarrolló el formato *Declipse* (Redert et al., 2006), que envía dos cuadros adicionales a la tradicional información de profundidad. Uno de ellos con el segundo plano general; otro, con la información de profundidad para dicho segundo plano. También es posible enviar solo los valores asociados a las partes del segundo plano que realmente quedan obstruidas por objetos en el primer plano, reduciendo así el ancho de banda requerido (Ver Figura 30). Esa compañía también ha desarrollado una tecnología para convertir video 2D y video 3D *frame-compatible* al formato declipse llamado *@depth*.

Se han realizado diversas investigaciones para mejorar la eficiencia de este mecanismo y aumentar la calidad de sus resultados. Por ejemplo, Merkle, Smolic, Karsten, & Thomas (2009) exploran la utilización de algoritmos de codificación específicos a los mapas de profundidad, capaces de preservar los cambios abruptos de intensidad alrededor de los objetos: los *codecs* optimizados para los videos a color tienden a

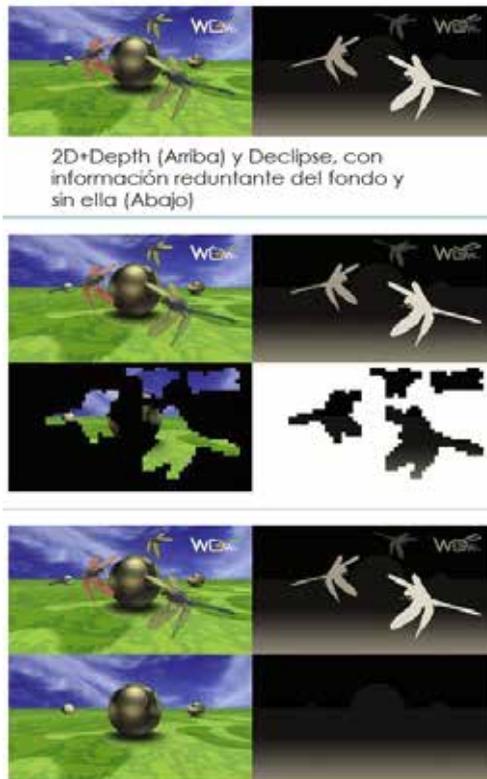


Figura 30. Formato Declipse

difuminarlos aprovechando la capacidad del ojo humano para crear la sensación de continuidad. Dichos cambios proveen información sobre el límite entre los objetos y el segundo plano, y por tanto, las distorsiones (*coding artifacts*) presentes en esta señal, se convierten en errores geométricos, fácilmente perceptibles por el observador.

Al método en cuestión le ha denominado *Platelet coded depth*; se basa en el modelamiento de las superficies de los mapas de profundidad como funciones matemáticas definidas por intervalos. De esta manera solo se transmiten las definiciones de dichas funciones, sus coeficientes, y otros parámetros de codificación, como la matriz de *quantización*, el árbol de división de bloques (*quadtree*), etc. El resultado final se puede apreciar en la Figura 31, que muestra el resultado de utilizar distintos métodos de codificación para el mapa de profundidad, incluyendo la versión clásica de H.264/AVC y su extensión H.264/MVC (los detalles sobre estas tecnologías y la diferencia entre ambas se discute en la sección *Múltiples vistas – Multiview (H.264/MVC)*). Si bien es evidente la superioridad de esta técnica en materia de calidad visual, no lo es así en términos de eficiencia: este título le pertenece a H.264/MVC. Por lo que aún se requiere una investigación más profunda.

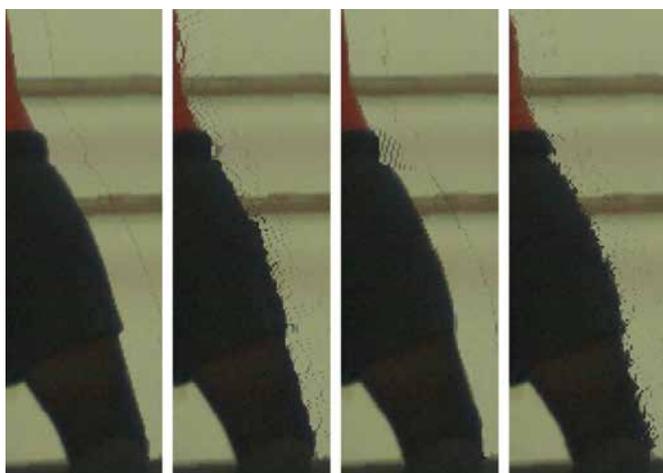


Figura 31. Cuadro resultante usando tres métodos de codificación para el mapa de profundidad (depth). Primer cuadro: mapa sin comprimir, segundo: H.264/AVC, tercero: Platelet, y cuarto: H.264/MVC

Un desarrollo similar, aunque más ambicioso, llamado LDV (*Layered Depth Video*) o Video de Profundidad por Capas, se explora en Bartczak et al. (2011). Este formato envía información adicional sobre las oclusiones para cada vista, pero en referencia a una vista base y usando complejos algoritmos para evitar redundancias (Figura 32), ofreciendo la ventaja adicional de permitir la generación de múltiples vistas desde diferentes ángulos y a distintas profundidades, según las preferencias del usuario. El formato también ofrece ventajas en las etapas de edición y postproducción del contenido 3D, evitando la mayoría de los problemas y errores de video introducidos por el uso de filtros o cambios resolución.

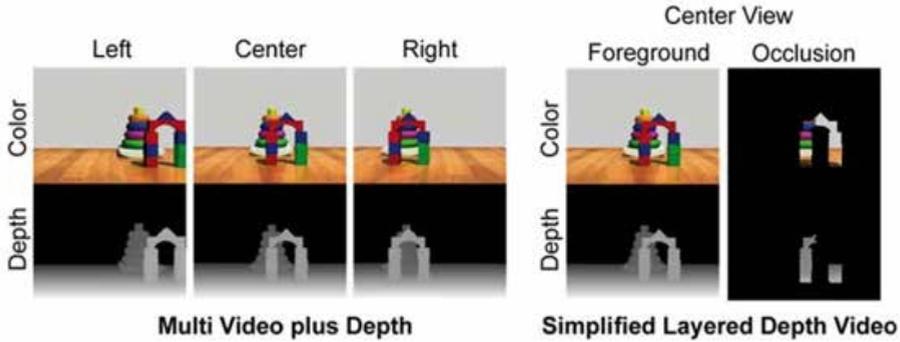


Figura 32. Comparación entre los formatos LDV y Múltiples vistas con profundidad. Este formato contiene en esencia la misma información pero con una considerable reducción en las necesidades de ancho de banda.

Por otra parte el formato *Multiview + depth* (Múltiples vistas + profundidad) sigue siendo la alternativa más explorada (se explica con mayor detalle en la sección *Múltiples vistas – Multiview (H.264/MVC)*).

2. 2D+Delta

Un enfoque diferente para afrontar las deficiencias de los mapas de profundidad, es utilizar un complemento absolutamente distinto para la vista base, compuesto por las diferencias entre ambas vistas (Figura 33). A esta nueva vista se le denomina *delta*; puede ser comprimida de manera sumamente eficiente (sin alcanzar los niveles de 2D+depth) y llegar requerir entre un 30 y 60 por ciento adicional de ancho de banda, dependiendo de la complejidad de la escena.

Esta tecnología fue desarrollada *inicialmente de manera propietaria por* TDVision Systems. Actualmente forma parte de la extensión MVC al estándar H.264 y ofrece la reconstrucción sin pérdidas de ambas vistas, conservando la vista del ojo derecho intacta, para su reproducción transparente por decodificadores de generaciones pasadas sin que estos requieran ninguna modificación. Los requerimientos de ancho de banda son cercanos a los 16Mbit/s para 1080p@60fps (TDVision, 2009).

Existen en este momento escasas implementaciones de dominio público de este codificador, la versión comercial de la compañía que la creó sigue siendo la única utilizada en ambientes profesionales.

D) Múltiples vistas – Multiview (H.264/MVC)

H.264 MPEG-4 AVC / MVC (ITU-T, 2007) es un esquema de codificación diseñado para aprovechar las redundancias presentes en las distintas vistas de una misma escena para predecir los cuadros que siguen en la secuencia, utilizando una vista *base* con la resolución original y compatible con los receptores 2D. Este formato permite incluir varias vistas adicionales a una vista base HD, lo que es necesario para las futuras tecnologías auto-estereoscópicas, que requieren diferentes imágenes de la misma escena, tomadas desde distintas posiciones (detalles en la Figura 34).



Figura 33. Formato 2D+Delta. La vista complementaria permite reconstruir la vista del ojo derecho

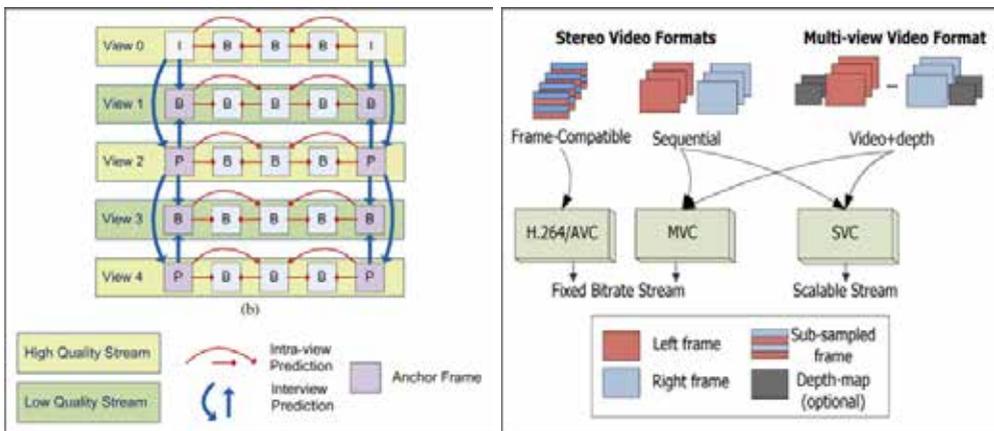


Figura 34. Codificación H.264 MPEG-4 AVC / MVC

III. DVB T/T2

DVB-T [Digital Video Broadcasting – Terrestrial] es el estándar para televisión digital terrestre lanzado por DVB Project; en la actualidad cuenta con su segunda versión (DVB-T2), la que hace parte de la familia de estándares del DVB, compuesta por DVB-T/T2 (para televisión terrestre), DVB-S/S2 (para televisión satelital), DVB-C/C2 (para televisión satelital), DVB-H/SH (para televisión en dispositivos móviles), DVB-IPTV (para televisión sobre redes IP), y otra larga lista de estándares para distribución y consumo de contenidos multimedia.

Por otra parte las mejoras introducidas en T2 permiten la transmisión transparente de contenidos estereoscópicos, usando las modulaciones de última generación. (Figura 35).

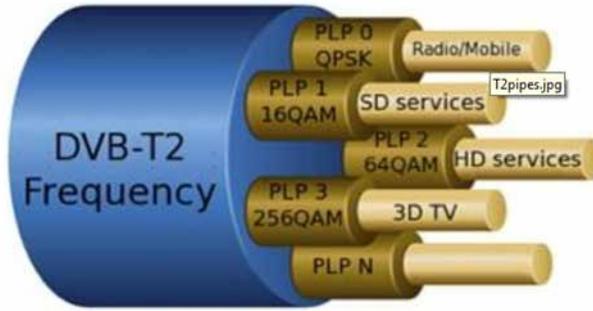


Figura 35. Canal DVB-T2 Con diversas modulaciones adaptadas al tipo de servicio

Las principales características técnicas del estándar DVB-T se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Estándar DVB - Características Técnicas

	DVB-T	DVB-T2
FEC	Códigos convolucionales + Red Solomon	LPDC + BCH
Tasa de codificación	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Canalización	5, 6, 7, 8 MHz	1.7, 5, 6, 7, 8, 10 MHz
Intervalos de guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
Tamaño de FFT	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Pilotos dispersos	8% del total	1%, 2%, 4%, 8% del total
Pilotos continuos	0.35% del total	2.6 % del total
Máxima capacidad	31.66 Mbps	50.34 Mbps

IV. El estándar DVB 3D TV

En Julio de 2010 el proyecto DVB publicó una serie requerimientos comerciales para la implementación exitosa de una modelo de emisión de contenidos 3D sobre TDT. En este documento se hace énfasis en la importancia de mantener la compatibilidad con los decodificadores [STB] en uso, así como también con la infraestructura existente desplegada por los operadores, de tal manera que pudiesen utilizar sus canales HD existentes para transmitir contenidos 3D, de manera exclusiva, sin afectar a los subscriptores que no quisieran usar dicho servicio (DVB, 2010). Se esperaba que los consumidores necesitaran un periodo de adaptación, para tener un primer acercamiento a los nuevos contenidos y que posteriormente demandaran mayor calidad y prestaciones.

Finalmente, en Febrero de 2011 fue publicado el estándar oficial para la emisión de contenidos en 3D (DVB 3D TV) (ETSI, 2011). Dicho estándar plantea la evolución de los servicios de distribución de contenido 3D en dos fases:

Fase inicial. Está enfocada en satisfacer las necesidades actuales del mercado y atender un número determinado de casos de uso (Ver Figura 36). Se debe contemplar el uso, compatibilidad y no perturbación entre decodificadores (STB) 3D y no 3D (HDTV), televisores con capacidades 3D y sin ellas (HDTV), y conectores HDMI (1.4a y anteriores). En algunos casos el usuario deberá cambiar su televisor manualmente a modo 3D, mientras en otros, el decodificador o el televisor deberán intentar presentar al usuario solo la vista del ojo izquierdo.

De igual manera, los contenidos emitidos deben ser compatibles con los STB capacitados para recibir video 3D presentes en el mercado hoy o requerir a lo sumo una actualización del software de máquina (*firmware upgrade*), y tener las siguientes características: usar la codificación H.264/AVC; tener una proporción espacial (*aspect ratio*) de 16:9; y usar los formatos 3D *Side-by-Side* [SbS] y *Top-and-Bottom* [TaB] de acuerdo con las siguientes resoluciones y frecuencias:

- » 720p @ 50 Hz TaB
- » 720p @ 50 Hz SbS (Opcional)
- » 1080i @ 25 Hz SbS
- » 720p @ 59,94 / 60 Hz TaB
- » 720p @ 59,94 / 60 Hz SbS (Opcional)
- » 1080i @ 29,97 / 30 Hz SbS
- » 1080p @ 23,98 / 24 Hz TaB
- » 1080p @ 23,98 / 24 Hz SbS

Por otra parte, no se define ningún requerimiento especial para el sonido, pero sí una señalización especial para indicar la disposición del cuadro de video de acuerdo con las resoluciones vistas anteriormente. Asimismo se especifica, en una adición especial al estándar DVB, la forma en que se deben gestionar los subtítulos en una transmisión 3D (DVB, 2011). El documento introduce el concepto de *disparidad de subtítulos* –distancia entre una *región de subtítulos* y el segundo plano (*background*), que permite determinar la ubicación de los subtítulos sobre el eje Z-, algo que puede cambiar en cada cuadro (Figura 37).

Segunda fase. Para las generaciones segunda y tercera de esta tecnología, se espera la introducción de nuevos STB con la capacidad de decodificar video H.264 MPEG-4 AVC (*Advanced Video Coding*) con la extensión MVC (*Multiview Video Coding*). El nuevo formato no necesitará ser compatible con los STB actuales, pero sí con los dispositivos compatibles con el video HD estándar. Se espera también que las transmisiones DVB 3DTV incluyan por lo menos una vista HD con la calidad original, de manera que los dispositivos que no posean la capacidad de procesar el contenido 3D, aún dispongan de un contenido apropiado para enseñar al usuario. En esta nueva fase de la evolución de los servicios 3D, se abre la posibilidad de transmitir múltiples vistas estereoscópicas a elección del usuario, aprovechando las mejoras en ancho de banda ofrecidas por la evolución de DVB, T2 y S2.

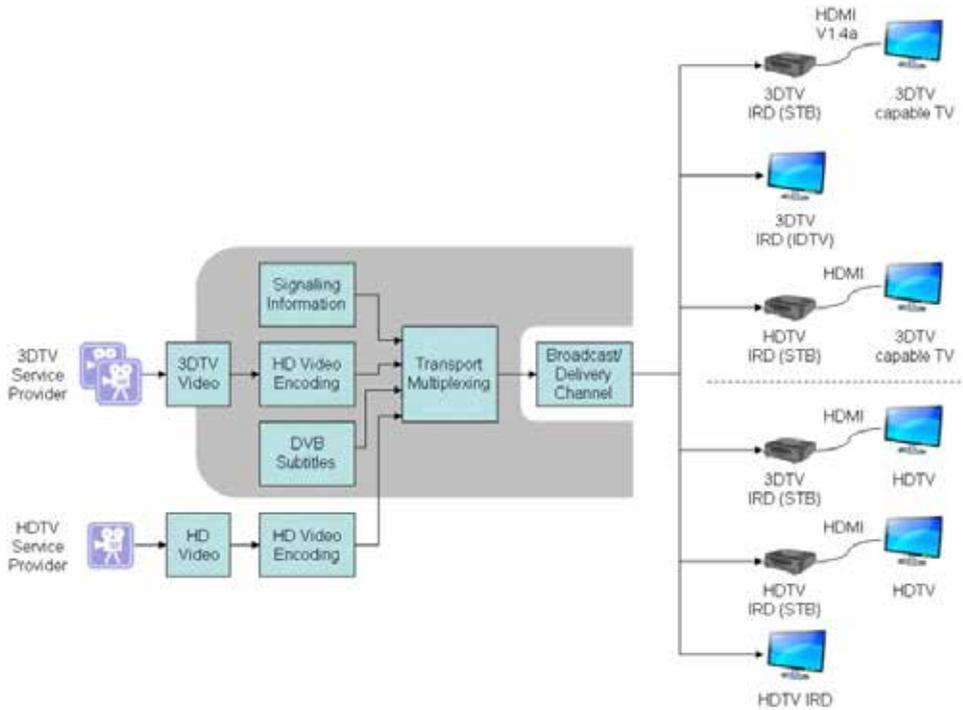


Figura 36. Estándar DVB 3D TV. La parte gris muestra los aspectos tecnológicos afectados

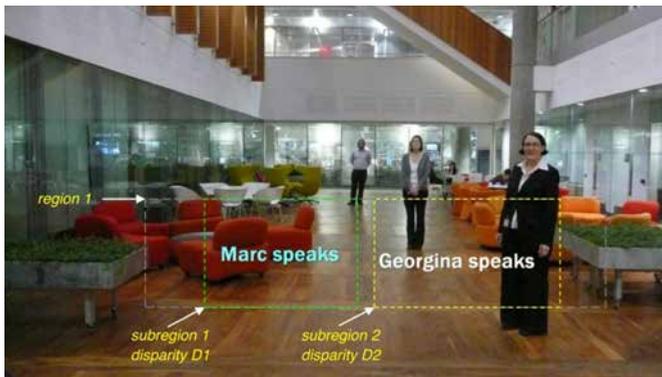


Figura 37. La disparidad permite identificar la distancia a la que se encuentra cada región sobre la que se dibujan subtítulos.

A) El estándar HDMI 1.4a

HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*). Es un estándar para transmisión de audio, video y datos, ampliamente adoptado por los fabricantes de dispositivos (televisores, SetTopBoxes, cámaras de video, computadores, etc.). Su primera versión data de 2003. Diez años después –seis versiones más–, tres billones de dispositivos se han vendido con soporte para alguna de ellas (HDMI Licensing, 2010).

La versión más reciente publicada: 1.4a, establece que los cables y puertos que la

soporten, deben estar en capacidad de transportar video hasta una resolución de 4K, además de ocho canales de audio sin comprimir (LPCM, DTS-HD Master Audio, Dolby TrueHD y Super Audio CD), un canal de Ethernet, un canal de retorno de audio (ARC) y un canal de control remoto (CEC). También, debe soportar Blue-Ray, HD DVD, los distintos espacios de color (sRGB, YCbCr, xvYCC), y varios formatos de video estereoscópico 3D, mediante señalización (HDMI, 2010):

- » Line Alternative (entrelazado);
- » Field Alternative (intercalado);
- » Frame packing (full HD 3D);
- » Side-by-side (cuadros completos o reducidos a la mitad);
- » 2D+depth y Declipse;
- » Top-and-bottom (cuadros completos o reducidos);
- » Checkerboard (soporta los 4 arreglos posibles del tablero).

El soporte a este protocolo de señalización es obligatorio, e implica que los dispositivos que pretendan implementar el estándar deberán responder apropiadamente a por lo menos la mitad de estos formatos, y estar en capacidad de desplegar por lo menos la vista base si se trata de un dispositivo netamente 2D. El señalizador contiene identificadores reservados para usos futuros, de manera que es posible que otros métodos similares a los descritos en este capítulo, sean soportados en el futuro.

V. Experiencias en otros países

La emisión de contenidos en 3D ya es una realidad en varios países. Sin embargo, la mayoría de los canales que se emiten en este momento lo hacen de manera satelital o por cable, como es el caso de HIGH TV 3D, que transmite una variada programación de cine, programas culturales, eventos deportivos e incluso programas de cocina en casa, usando la compresión MPEG-4 sobre DVB-S2, alcanzando un framerate de 1080i. RRSat, una empresa israelí, distribuye los contenidos de manera satelital utilizando su propia tecnología propietaria: RRSat PlayOut; aunque también están siendo distribuidos desde hace poco por Etisalat (Al Mashni, 2012), una empresa originaria de los Emiratos Árabes Unidos que distribuye contenidos al oriente medio utilizando una red IPTV (televisión sobre el Internet Protocol) de fibra óptica.

Sky 3D es otra iniciativa lanzada en el Reino Unido (Withworth, 2010). Utiliza DVB-S, compresión MPEG-2 y el formato Side-by-side, alcanzando un framerate de 1080i.

ESPN 3D es la propuesta Norteamericana, es transmitida por operadores de cable (Comcast, Verizon, Time Warner, etc.) y televisión satelital (DirecTV y FOXTEL) desde Junio de 2011. El formato es el tradicional Side-by-side, en la mayoría de los casos, alcanzando framerates de 720p y 1080i, remplazado en algunas ocasiones por Top-Bottom durante transmisiones del canal australiano Foxtel 3D (Foxtel, 2010), que también transmite programas en 3D de la National Geographic sobre DVB-S usando

MPEG-4. MSG Network es otra empresa norteamericana, propiedad de Madison Square Garden Inc., que ha transmitido programas deportivos por cable a 720p en su canal Cablevision (Boylan, 2010), esta oferta es una de las primeras (con la posible excepción de algunas emisiones de un canal Japonés en 2008, de las que no se tiene mucha información), pero parece no estar disponible desde hace algún tiempo.

- » Por otra parte las únicas transmisiones sobre redes de televisión terrestre (TDT) publicitadas hasta el momento son:
- » Rede TV! de Brasil emitió el programa de comedia Pânico na TV en Mayo de 2010 (iWWWTv, 2010). La tecnología utilizada fue ISDB-Tb, MPEG-4, 720p. Recientemente se anunció la emisión de programación a 1080p, pero, aparentemente, solo sobre su red satelital (Demetrio, 2010).
- » TV3 de Cataluña emite regularmente contenido 3D desde Mayo de 2010 sobre una red DVB-T MPEG-2 a 1080i (Televisió de Catalunya, 2011).
- » Mediaset, una de las cadenas más grandes de Italia, ofrece un servicio de películas por suscripción desde Enero de 2011 (Rooney, 2011). En realidad el servicio no es estrictamente hablando Broadcasting, sino más bien una tecnología denominada datacasting, que consiste en transmitir lentamente la película sobre el ancho de banda inutilizado entre los canales DVB-T (whitespace) para que sea almacenado temporalmente en el disco duro del STB, un Motive Bestv (Motive Television, 2011). La empresa fabricante de este dispositivo también ofrece la tecnología para implementarlo del lado del operador de televisión: The Television Anytime Datacast / PushVoD, que además puede realizar una descarga híbrida si dispone también de una conexión a Internet. Esto permite que la película pueda ser vista en cualquier momento luego de haber sido descargada en su totalidad. Los formatos utilizados son MPEG-4 720p o 1080i, a elección del usuario.
- » Todas estas transmisiones, han utilizado el formato *Side-by-Side* mencionado en la sección Frame-compatible. La implementación de las siguientes etapas en la evolución de esta tecnología, es objeto de intensa investigación y se espera que, en cuanto las condiciones comerciales lo permitan, las anteriores y las nuevas ofertas de televisión 3D utilicen métodos más avanzados.

Referencias bibliográficas

- Al Mashni, R. (2012, abril 4). *The Ultimate Middle East Business Resource* [Boletín de prensa en AMEinfo.com]. Recuperado de <http://www.ameinfo.com/192841.html>
- Alonso, J. & Bailer, W. (2011, marzo 3). *M3Di. Metadata 3D initiative: A proposal for metadata standardization on 3D media* [en línea - M3Di]. Recuperado de <http://www.m3di.org/>
- Arai, J., Okano, F., Kawakita, M., Okui, M., Haino, Y., Yoshimura, M., . . . Sato, M. (2010). Integral Three-Dimensional Television Using a 33-Megapixel Imaging System. *Journal of Display Technology*, 6(10), 422-430

- Bartczak, B., Vandewalle, P., Grau, O., Briand, G., Fournier, J., Kerbirou, P., . . . Koch, R. (2011). Display-Independent 3D-TV Production and Delivery Using the Layered Depth Video Format. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 57(2), 477-490
- Best 3DTVS. (2012, abril 12). *3D TV format guides*. Recuperado <http://www.best-3dtps.com/guides/3d-format-guide/>
- Boylan, C. (2010, marzo 18). 3D TV: *Cablevision and MSG to Broadcast Islanders/Rangers Hockey Game in 3D* [en línea - Big picture big sound]. Recuperado de <http://www.bigpicturebigsound.com/Cablevision-to-Broadcast-3d-rangers.shtml>
- Bramson, A. & Sterling, C. (2007). *The history of television, 1942 to 2000*. Jefferson, NC: McFarland
- Briel, R (2011, junio 8). *Second broadcaster to use Sisvel's 3D system* [en línea - Broadband TV News]. Recuperado de <http://www.broadbandtvnews.com/2011/06/08/second-broadcaster-to-use-sisvels-3d-system/>
- Cable Television Laboratories (2010, agosto 27). *OpenCable specifications -content encoding profiles 3.0 specification, OC-SP-CEP3.0-I01-100827*. Recuperado de <http://www.cablelabs.com/specifications/OC-SP-CEP3.0-I01-100827.pdf>
- Cable Television Laboratories [Cabelabs]. (2012). *OpenCable™ specifications. Content encoding profiles 3.0 specification. OC-SP-CEP3.0-I01-100827*. Louisville, CO: Cablelabs. Disponible en <http://www.cablelabs.com/specifications/OC-SP-CEP3.0-I01-100827.pdf>
- Cameron, J. [Dir.]. (2009). *Avatar* [película]. Los Ángeles, CA: 20th Century Fox
- Carter, J. (2012, marzo 21). *3D Radar Europe* [en línea - Techradar.com]. Recuperado de <http://www.techradar.com/news/home-cinema/high-definition/do-we-need-higher-frame-rates-1072784>
- ColorCode 3D (2012, marzo 12). *ColorCode 3D Pro encoding*. Recuperado de <http://colorcode3d.com/Encoding.html>
- Demetrio, A. (2010, mayo 23). *REDTV passa a transmitir programas em 3D* [en línea]. *Folha de S.paulo*. Recuperado de <http://www1.folha.uol.com.br/tec/739663-redetv-passa-a-transmitir-programas-em-3d.shtml>
- DreamScene.org. (2010). *3D Format Overview*. Recuperado de <http://www.dreamscene.org/s3dvideo.php?Cmd=Show&site=formats>
- Dubois, E. (2001). A projection method to generate anaglyph stereo images. En *Proceedings of 2001 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '01)*, [Vol.3], (pp.1661-1664). Piscataway, NJ: IEEE
- DVB Project (2011, marzo). *Digital Video Broadcasting (DVB); Subtitling systems [addition to EN 300743 v1.3.1 for Subtitles with Plano-Stereoscopic Content (3D)] [DVB Blue Book]*. Recuperado de http://www.dvb.org/technology/standards/A156_DVB-SUB-Addendum_on_3D.pdf
- DVB Project. (2010, Julio). *Commercial Requirements for DVB 3D TV* [DVB

- Blue book]. Recuperado de http://www.dvb.org/technology/standards/a151_CR_for_DVB-3DTV.pdf
- European Telecommunications Standards Institute [ETSI]. (2011). *ETSI TS 101 547 V1.1.1 (2012-01). Digital Video Broadcasting (DVB) Frame Compatible Plano-Stereoscopic 3DTV (DVB-3DTV)*. [Technical Specification]. Sophia Antipolis, France: ETSI. Disponible en http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/101500_101599/101547/01.01.01_60/ts_101547v010101p.pdf
- Foxtel. (2010, Septiembre 20). *Foxtel announces dedicated 3D channel and new channel line-up* [boletín de prensa]. Recuperado de <http://www.foxtel.com.au/about-foxtel/communications/foxtel-announces-dedicated-3d-channel-and-new-channel-line-u-94874.htm>
- HDMI Licensing (2010). *High-Definition Multimedia Interface Specification Version 1.4a Extraction of 3D Signaling Portion*. Sunnyvale, CA: HDMI Licensing
- Hutchison, D. (2007). *Introducing DLP 3-D TV* [white paper]. Dallas, TX: Texas Instruments. Disponible en <http://dlp.com/downloads/Introducing%20DLP%203D%20HDTV%20Whitepaper.pdf>
- International Standard Organization / International Electrotechnical Commission [ISO/IEC]. (2007). *MPEG video technologies -- Part 3: Representation of auxiliary video and supplemental information*. Ginebra, Suiza: ISO/IEC
- iWWWTV. (2010, mayo 24). *Pânico na TV HD: estréia 3D da rede TV! em 1080p* [video]. Recuperado de <http://www.youtube.com/watch?v=bhrnjamk7z4>
- Jackson, P. [Dir.]. (2012). *The hobbit: An unexpected journey* [película]. Los Ángeles, CA: New Line / MGM / Wingnut
- JVC (2011, noviembre). *3D Viewing* [en línea - JVC]. Recuperado de <http://cdn.jvc.eu/dla-x90/feature04.html>
- Lanman, D., Hirsch, M., Yunhee, K., & Raskar, R. (2010). Content-adaptive parallax barriers: optimizing dual-layer 3D displays using low-rank. *ACM Transactions on Graphics*, 29(6), 163-173
- Lobel, R. (2009, enero). *Magenta-Cyan Anaglyphs* [en línea - divideconcept.net]. Recuperado de <http://www.divideconcept.net/papers/MCA-RL09.pdf>
- Martín, E. (2012, mayo 19). *Toshiba 55ZL2G, televisor Quad Full HD con 3D sin gafas* [en línea - tuexperto.com]. Recuperado de <http://www.tuexperto.com/2012/05/19/toshiba-55zl2g-televisor-quad-full-hd-con-3d-sin-gafas/>
- Merkle, P., Smolic, A., & Müller, K. (2007). Efficient prediction structures for multi-view video coding. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 17(11), 1461-1473.
- Merkle, P., Smolic, A., Karsten, M., & Thomas, W. (2007). Efficient compression of multi-view depth data based on MVC. En *3DTV Conference, 2007* (pp.1-4). Piscataway, NJ: IEEE
- Motive Television. (2011, enero 6). *What*

- is the television anytime anywhere™ platform?* [en línea - Motive Television]. Recuperado de <http://www.motivetelevision.co.uk/english/the-platform/>
- Murphy, D.B., Spring, K.R., & Davidson, M.W. (2012, marzo 5). *Introduction to polarized light* [en línea - MicroscopyU]. Recuperado de <http://www.microscopyu.com/articles/polarized/polarizedlightintro.html>
- Pennisi, D. (2011, diciembre 12). *3D TV service compatible frame packing format* [en línea - Sisvel Technology]. Recuperado el 05 de Mayo de 2012, de Recuperado de <http://www.sisveltechnology.it/media/files/3dtv/3DTV-Frame-slicing-format.pdf>
- Redert, A., Berretty, R.-P., Varekamp, C., Willemsen, O., Swillens, J., & Driessen, H. (2006). Philips 3D solutions: From content creation to visualization. *Third International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission (3DPVT'06)*, (pp. 429-431). Piscataway, NJ: IEEE
- Rooney, B. (2011, Enero 17). World's First Terrestrial 3D TV Service Starts in Italy. *The Wall Street Journal*. Recuperado de <http://online.wsj.com/article/SB10001424052748703583404576079753400883650.html>
- Röthlin, G. (2007). Mayan: A novel algorithm to create color preserving anaglyph images. *Mayan: A novel algorithm to create color preserving anaglyph images*. Recuperado de http://stereo.ethz.ch/Publications/Pubs_Reports_and_Thesis/files/Mayan_-_A_novel_algorithm_to_create_color_preserving_anaglyph_images.pdf
- Spatial View. (12 de Marzo de 2012). *3DeeSlide*. Recuperado de <http://www.spatialview.com/product/3deeslide/>
- TDVision. (2009). Knowledgebase - Contribution from TDVision Inc. Recuperado de <http://www.tdvision.com/WhitePapers/TDVisionKnowledgebasePublicReleaseRev2.pdf>
- Televisió de Catalunya. (2001, Julio 1). *TV3 crea l'espai INNOVA, dedicat a les emissions en 3D*. Recuperado de <http://www.tv3.cat/actualitat/319420>
- Tri-Delta Group at The Technical University of Denmark. (2010, febrero 21). *Anaglyphs: Yellow / Blue*. Recuperado de http://nzphoto.tripod.com/sterea/anaglyphs_yb.html
- TrioViz. (2012). *Infocolor 3D* [en línea - TriOviz for games]. Recuperado de <http://trioviz-for-games.com/inficolor/>
- Urey, H., Chellappan, K. V., Erden, E., & Surman, P. (2011). State of the art in stereoscopic and autostereoscopic displays. *Proceedings of the IEEE*, 99(4), 540-555
- Vetro, A., Tourapis, A. M., Member, S., Müller, K., & Chen, T. (2011). 3D-TV Content Storage and Transmission. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 57(2), 384-394
- Wade, N.J. (1996). Descriptions of visual phenomena from Aristotle to Wheatstone. *Perception*, 25(10), 1137-1175
- Withworth, D. (2010, octubre 1). *Sky*

launches Europe's first 3D TV channel in the UK [en línea - BBC Newsbeat]. Recuperado de <http://www.bbc.co.uk/newsbeat/11446978>

Woods, A.J., & Yuen, K.L. (2006). Compatibility of LCD Monitors with Frame-Sequential Stereoscopic 3D Visualisation [invited paper].

En *IMID/IDMC '06 Digest, The 6th International Meeting on Information Display, and The 5th International Display Manufacturing Conference*, Daegu, South Korea, 22-25 August 2006, (pp. 98-102). Seúl, Corea: Korean Information Display Society

Curriculum vitae

Andrés Navarro Cadavid

IEEE Senior Member. Ingeniero Electrónico (1993) y Magister en Gestión de la Tecnología (1999) de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín (Colombia). Doctor Ingeniero en Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Valencia (España, 2003). Es profesor titular y líder del Grupo de Investigación en Informática y Telecomunicaciones, i2T, de la Universidad Icesi de Cali (Colombia), y Consejero del Programa Nacional de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática [ETI]. Sus áreas de interés incluyen los sistemas inalámbricos, su planificación y optimización, y los modelos de propagación de ondas de radio aplicables a la región Andina. Es el investigador líder del proyecto *Servicio universal en cooperación Colombia-España para sistemas de satélite de televisión (Success-TV)*, cofinanciado por Colciencias.

Carlos Andredy Ardila

Ingeniero de Sistemas (2008), candidato a Magister en Gestión de Informática y Telecomunicaciones y miembro, desde 2004, del Grupo de Investigación en Informática y Telecomunicaciones (i2T) de la Universidad Icesi de Cali (Colombia). Ha realizado investigaciones en las áreas de planeación de redes inalámbricas, ingeniería de software y algoritmos de optimización. Ha sido consultor y jefe de proyecto en el desarrollo de software para dispositivos móviles, sistemas distribuidos, soluciones empresariales, juegos educativos y aplicaciones web. Actualmente es parte del grupo de investigadores del proyecto *Servicio universal en cooperación Colombia-España para sistemas de satélite de televisión (Success-TV)*, cofinanciado por Colciencias.