



ACER RAW 8K LOG P3 2020 4:4:4 3K HEVC SMPTC DCI HFR PL UHD 4K HDR

GUÍA 4K HDR

Luis Ochoa / Francisco Utray

709 MEDIAROOM



Luis Ochoa es Colorista, director de Postproducción Imagen XPost Studios (Grupo Secuoya) y Fundador del portal [709 MediaRoom](https://709mediaroom.com).



Francisco Utray es profesor de Comunicación Audiovisual en la [Universidad Carlos III de Madrid](https://www.uc3m.es) y miembro del grupo de investigación [TECMERIN](https://tecmerin.com).

Diseño y maquetación: Cristina Simón

Disclaimer

Los autores quieren dejar constancia de que para la realización de este estudio no se ha recibido ningún tipo de retribución, ni económica ni material, por parte de la industria. Se ha solicitado el préstamo de equipos a los fabricantes y distribuidores con el fin de hacer las evaluaciones, sin mediar ningún tipo de acuerdo de patrocinio que pudiera condicionar los resultados de la investigación. Esta Guía no pretende ser un listado exhaustivo y detallado de todos los equipos técnicos capaces de trabajar en 4K o en HDR. Los autores quieren mostrar algunos ejemplos de equipamiento en los distintos apartados, pero en ningún caso se encontrarán mencionados y actualizados todos los equipos de las distintas marcas y fabricantes. El objetivo de esta Guía es la divulgación de información actualizada sobre tecnología audiovisual pero no hacer un catálogo de materiales.

Los errores, omisiones, imprecisiones y generalizaciones que pueda haber en este documento son exclusivamente responsabilidad de sus autores y reflejan sus opiniones personales y su limitada experiencia con los equipos que se prueban y evalúan.



Reconocimiento – NoComercial – SinObraDerivada (by-nc-nd).

Guía 4K-HDR

Luis Ochoa & Francisco Utray

Índice de capítulos

- [Los cinco pilares de la Ultra HD](#)
- [HDR: alto rango dinámico](#)
- [Gestión de color y ACES](#)
- [Formatos y códecs](#)
- [Difusión en Ultra HD](#)
- [Cámaras para cinematografía](#)
- [Herramientas para la postproducción](#)
- [Sonido para audiovisual](#)
- [Conclusiones sobre la migración a la televisión Ultra HD y al cine 4K](#)

Índice detallado

Índice de capítulos	2
Índice detallado	3
Presentación	6
Los cinco pilares de la Ultra HD	8
Resolución espacial 4K	9
Resolución temporal: HFR	11
Profundidad de color	13
Rango legal y rango extendido a 8 y 10 bits	14
Espacio de color o gamut	15
Rango dinámico, contraste, y función de transferencia	18
HDR: Alto Rango dinámico	21
Pantallas de alto rango dinámico	22
Funciones de transferencia para monitores HDR	25
La norma SMPTE ST-2084	26
La norma Hybrid Log-Gamma (HLG)	27
Referencias sobre HDR	30
Gestión de color y ACES	31
Display referred y Scene referred	31
ACES. Un sistema estándar de gestión de color	33
Piezas fundamentales de ACES	34
IDT. Input Device transform	35
OT. <i>Output transform</i> (ODT y RRT)	36
LMT. Look Modification Transform	38
CDL. Color Desicion List	38
Flujo de trabajo de Archivo. NAM y GAM	39
Espacios de color ACES y funciones de transferencia	40
Referencias sobre Gestión de color y ACES	43
Formatos y códecs	45
Submuestreo de color	45
Compresión	47
Flujo de transferencia y ancho de banda	47
Archivos 'raw' y archivos de imagen procesada	48

Formatos contenedores	49
Clasificación de los códecs	51
Tabla de códecs de producción 4K.....	55
Difusión en Ultra HD.....	56
Cámaras para cinematografía	60
Sensores	61
Ópticas para 4K	66
Monturas.....	73
Cámaras.....	75
Arri, un estándar para cinematografía digital	78
Red, pioneros del 4K	79
Sony, cámaras 4K para toda la gama del mercado	80
Cámaras 4K de Panasonic.....	81
Cámaras 4K de Canon.....	83
Blackmagic, cinematografía digital de bajo presupuesto	85
Tarjetas de memoria y grabadores externos	86
Referencias sobre captura de imagen y cámara	88
Herramientas para la postproducción	90
‘Hardware’ para la postproducción 4K.....	90
Equipo informático, ¿PC o Mac?	91
Procesadores y tarjetas gráficas GPU.....	93
Sistemas de almacenamiento: RAID y discos SSD	94
Soportes para almacenamiento y archivo.....	97
Tarjetas de captura y reproducción: ‘I/O Box’	99
Conexionado	101
Monitores.....	103
‘Software’ para la postproducción 4K.....	108
Programas de edición de vídeo	109
Programas de composición y efectos visuales (VFX)	111
Programas de 3D (CGI)	113
Procesos finales y corrección de color	114
Referencias sobre flujos de trabajo de la postproducción.....	117
Sonido para audiovisual	118
Parámetros técnicos de la calidad del sonido.....	118
Frecuencia de muestreo (<i>Sample Rate</i>)	118
Profundidad de bits (<i>Bit Depth</i>)	120

Flujo de transferencia (<i>Bit Rate</i>)	122
Compresión dinámica / compresión de datos	122
Rango dinámico y sonoridad	124
Códecs para sonido multicanal	127
Los inicios del audio digital para salas de cine	129
Sonido inmersivo, sonido 3D o sonido basado en objetos	131
Sonido para salas de exhibición de cine	137
Códecs Sonido para televisión en UHD y Blu-ray	138
Códecs de sonido para difusión por internet	141
Conclusiones del capítulo de sonido	142
Conclusiones sobre la migración a la televisión Ultra HD y al cine 4K	145

Presentación

Todos los días, como profesionales y estudiantes del audiovisual, nos encontramos términos, conceptos, tecnologías y siglas que nos pueden hacer dudar. Es difícil entender cuáles son las implicaciones reales que todo ello tiene en nuestro trabajo y qué relaciones se establecen entre unas cosas y las otras. Con esta guía nos hemos propuesto trazar un panorama actualizado de la tecnología de producción audiovisual en ultra alta definición HDR y las bases en las que se sustenta.

Ultra HD y HDR son los nuevos estándares para la imagen digital en movimiento y están todavía en desarrollo. No se sabe a ciencia cierta hasta dónde nos llevará esta senda que afecta a las industrias del cine, la televisión y el vídeo. ¿Es un cambio de paradigma o simplemente una suave evolución? ¿Está madura la tecnología para este cambio? ¿Existe realmente una demanda de los usuarios?

Hemos tratado de poner en claro algunas de estas cuestiones y entender lo que supone el 4K y el HDR para las cámaras, los sistemas de postproducción y la difusión o archivo de los contenidos. Pretendemos clarificar algunas ideas que puedan ayudar a rellenar lagunas de conocimientos que dificultan la comprensión global del escenario, y desde esa perspectiva hemos redactado estas páginas.

Comenzaremos este análisis exponiendo una serie de conceptos básicos y necesarios para entender el potencial y las limitaciones de la ultra alta definición a día de hoy. A continuación, describiremos los distintos formatos y códecs que se están utilizando en la industria audiovisual y sus características técnicas. Se han considerado como entornos de difusión: el cine digital, la televisión, la distribución de contenidos por internet y los discos Blu-ray. Otros apartados se dedicarán a las herramientas para la captación: cámaras, sensores, ópticas y sistemas de grabación; a los sistemas de postproducción, considerando tanto el *hardware* como el *software*; a las mejoras en el sonido que deben de acompañar al incremento de la calidad visual; y por último, a los sistemas de almacenamiento y archivo

Hemos incorporado tablas, vínculos y referencias para que este trabajo pueda ser utilizado como punto de partida para otras investigaciones o para consulta.

Esta 'Guía 4K HDR' es una iniciativa que surge de forma espontánea como soporte para nuestra actividad profesional y docente. Es un proyecto completamente independiente y abierto a la participación de otros profesionales que tengan interés en contribuir con sus aportaciones y que se encuentra vinculado a [709 MediaRoom](#), un lugar de encuentro para profesionales de la producción audiovisual. La intención no es hacer un documento exhaustivo, sino una herramienta de trabajo que se actualice dinámicamente con la retroalimentación y la participación activa de todos cuantos formamos parte de esta red.

Queremos expresar aquí nuestro agradecimiento y reconocimiento a los colegas y amigos que nos han transmitido generosamente sus conocimientos, algunos de los cuales han participado directamente en la creación de contenidos:

- [Damián Ruiz Coll](#), investigador de la Universidad 'Rey Juan Carlos, especializado en ultra alta definición.
- [Julio Gómez](#), consultor independiente, formador y *betatester*. Experto en cámaras de cine y ópticas.

- [Juan Luis Cabellos](#), director de fotografía y formador. Miembro de AEC.
- [Rafa Roche](#), director de fotografía y formador. Miembro de AEC.
- [Daniel Pérez](#), cofundador de WhyOnSet.
- [Pol Turrents](#), director de fotografía y miembro de AEC.
- [Fernando Alfonsín](#), postproductor especializado en cine digital.
- [Fernando Muro](#), Sony Broadcast.
- [Sergio Márquez](#), de Nómada Media
- [Federico Duplá](#), Investigador y director de fotografía

En muchas ocasiones hemos tenido que sintetizar sus explicaciones, simplificándolas con intención didáctica, para facilitar la lectura y la comprensión de los conceptos técnicos.

También queremos transmitir nuestro agradecimiento a las empresas con las que colaboramos y que nos han ayudado a realizar las pruebas técnicas de esta nueva edición de la Guía 4K HDR:

- [Tangram Solutions](#), Soluciones Audiovisuales Completas
- [WhyOnSet](#), DIT Station / Mobile Datalab
- [Canon España](#)
- [Azken Muga](#), Servers & Workstations Graphics Solutions

Los cinco pilares de la Ultra HD

En sí mismo 4K no significa mucho. Hace referencia al número de píxeles que componen el fotograma, pero hay una serie de factores relacionados que intervienen en la cinematografía digital y que serán determinantes para comprender cómo, en torno al concepto de 4K, se están implantando sistemas que incrementan significativamente la calidad técnica de la imagen.

Cuando los fabricantes de teléfonos móviles ofertan dispositivos que graban vídeo en 4K, es obvio que no responden a las mismas especificaciones técnicas que las cámaras de alta gama para producción de cine. ¿Dónde está la diferencia?

[Damián Ruiz Coll](#), experto en procesos de normalización internacional, nos explica que el salto hacia una imagen digital de mayor calidad se sustenta en cinco pilares:

- Aumentar la [resolución espacial](#): más píxeles en cada imagen (4K, 6K, 8K o 12K).
- Aumentar la [resolución temporal](#): más fotogramas por segundo (48, 50, 60, 100 o 120 fps).
- Aumentar el [rango dinámico](#): mayor capacidad para captar y reproducir niveles de brillo y matices de color.
- Aumentar la cuantificación ([profundidad de color](#)): número de bits que se emplean para codificar cada uno de los píxeles (10, 12 o 16 bits).
- Aumentar el [espacio de color](#): un gamut de color más amplio.

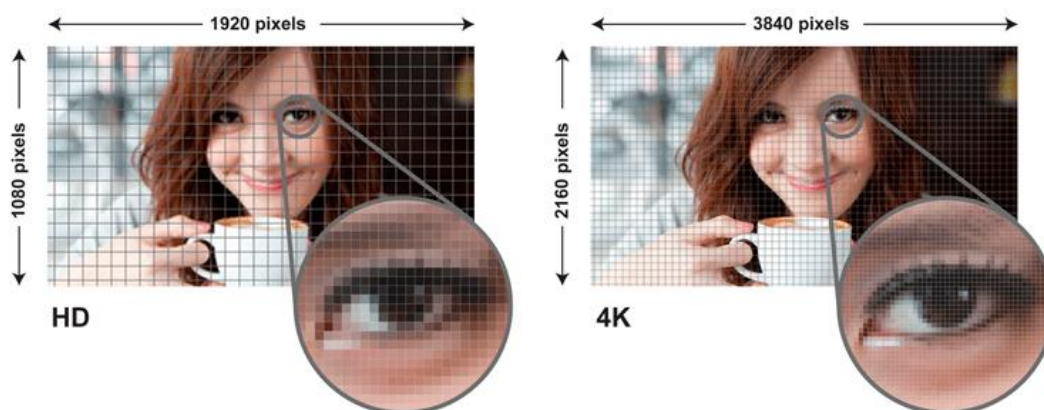
Para que se produzca el salto cualitativo se tienen que dar estos cinco factores conjuntamente.



Los cinco pilares de la ultra alta definición.

Resolución espacial 4K

La **resolución espacial indica las dimensiones en píxeles de una imagen**, es decir, el número de píxeles que constituyen la altura y la anchura de una imagen. El término 4K, inicialmente utilizado en la industria del cine digital, se emplea ahora para los formatos de cine, televisión o de difusión por internet que utilizan resoluciones espaciales de aproximadamente 4.000 píxeles en sentido horizontal.



El 4K incrementa el número de píxeles que componen las imágenes. Fuente: Redwireinnovation.

Tradicionalmente, la resolución de la televisión se ha medido en líneas. Con el término 4K se produce un cambio de denominación puesto que el 4.000 no hace referencia a las líneas sino a las columnas de la matriz de píxeles que componen la imagen.

El origen del término 4K proviene de los escáneres de cine que se utilizan para digitalizar cada fotograma de una secuencia rodada sobre película fotoquímica. Nace de la búsqueda de la resolución adecuada para poder digitalizar la película cinematográfica preservando la calidad registrada en el material fotoquímico.

Kodak diseñó el sistema Cineon con este propósito. Se utilizó por primera vez en el año 1993 para la restauración digital del clásico de Disney *Blancanieves y los siete enanitos*. La película entera fue escaneada, fotograma a fotograma, en archivos digitales de 4K a 10 bits de profundidad de color y retocada con sistemas informáticos.

A partir de estas primeras experiencias, la resolución 4K se empezó a utilizar habitualmente en postproducción digital de cine y posteriormente se fue concretando también para captación y como evolución de los sistemas de televisión de alta definición.

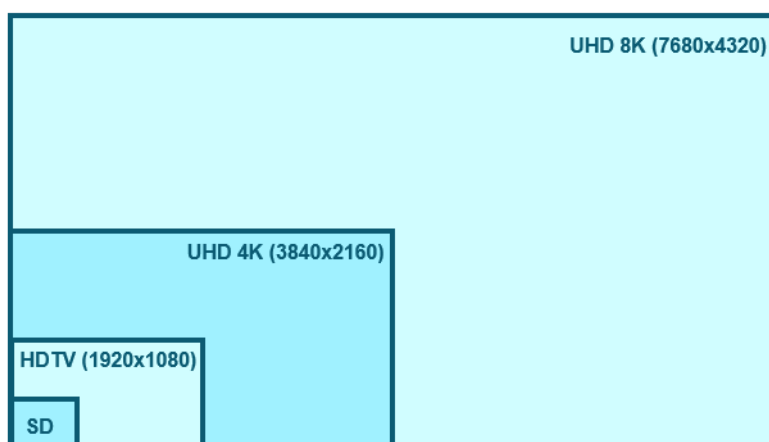
En la siguiente tabla se pueden ver los valores de resolución espacial y relación de aspecto de los formatos más comunes en cine (DCI) y televisión (BT-2020):

	Relación de aspecto	Resolución espacial
Cine digital 4K (DCI)	1,85:1	3.996 x 2.160
	2,39:1	4.096 x 1.716
	1,90:1 (<i>full</i>)	4.096 x 2.160
Televisión 4K (BT-2020)	16:9	3.840 x 2.160

Actualmente se trabaja también con otros formatos con resoluciones superiores que todavía no están tan generalizados, entre los que destacan:

- La mayoría de los fabricantes de cámara de cine digital de alta gama ofrecen la posibilidad de grabar con resoluciones superiores a 4K. Por citar solamente algunos ejemplos, la Arri Alexa 65, la Red Dragon o la Sony Venice.
- Por último, en Japón, la cadena televisiva NHK (Nippon Hoso Kyokai) ha promovido el desarrollo del formato de 8K (7.680 x 4.320) para una relación de aspecto de 16:9. El formato 8K está contemplado también en la norma BT-2020 para masterización.

En la siguiente figura se puede ver una representación a escala de la evolución de la resolución espacial, desde la resolución estándar (SD, 720 x 576) hasta la ultra alta definición (UHD, 4K y 8K).



Evolución de la resolución espacial desde la TV de resolución estándar (SD) y de alta definición (HD) hasta los formatos de ultra alta definición (UHD 4K y 8K).

La relación de aspecto expresa la proporción entre el alto y el ancho de la imagen. La televisión adoptó en sus inicios una relación de aspecto de 4:3 (1,33:1) siguiendo la tradición del formato académico del cine. Pero en los años 50, para la producción y exhibición cinematográfica, se desarrollaron los formatos panorámicos consiguiendo así un elemento diferenciador y aumentando la espectacularidad del formato. En los años 2000, aprovechando la migración digital, se implantó mundialmente en televisión el formato de pantalla ancha 16:9 (1,77:1).

En cine y televisión se han utilizado dos formas distintas para indicar la relación de aspecto: en televisión se usa un quebrado, por ejemplo 4:3 o 16:9, mientras que en cine se emplea un decimal en relación a 1, por ejemplo 1,33:1 o 1,77:1.

La normalización establecida para el cine digital DCI es 1,85:1 y 2,39:1 para formatos panorámicos. En televisión, el estándar es el formato 16:9.

A efectos prácticos, conviene destacar que el formato 1,85:1 del cine es prácticamente igual que el 16:9 de la televisión, tan solo con un ligero recorte. Por tanto, esta relación de aspecto funciona correctamente tanto en televisión como en cine, simplemente se tiene que aplicar un ligero recorte.

En la siguiente figura se pueden apreciar las diferencias entre estos formatos.

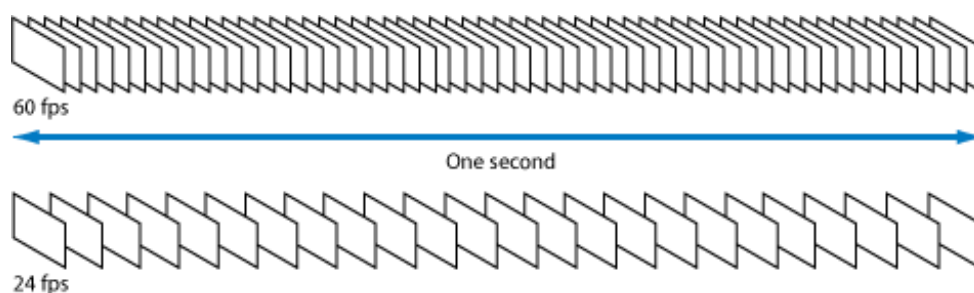


Comparación de las distintas normas de relación de aspecto. Fuente: Red.

Resolución temporal: HFR

Los sistemas de edición de vídeo que se utilizan hoy en día ofrecen mucha flexibilidad a la hora de definir la frecuencia de fotogramas o *frames* por segundo (fps) de una secuencia o un proyecto. En cine, tradicionalmente se ha rodado a 24 fps, en la televisión europea a 25 fps y en Estados Unidos a 30 fps o a 29,97 fps. Las cámaras digitales pueden grabar con cualquiera de estos valores de frecuencia y los sistemas de postproducción ofrecen herramientas para hacer las conversiones que puedan ser necesarias.

Cuanto más fotogramas se tomen de una acción, más información se registrará sobre el movimiento que produce. Por ello, **la frecuencia de fotogramas por segundo (*frame rate*) de una secuencia se denomina resolución temporal (*temporal resolution*)**.



Resolución temporal. Fuente: Apple.

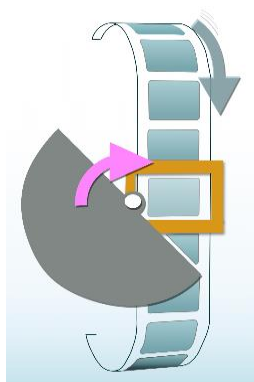
El ajuste de la resolución temporal en la cámara también afectará a la definición de los bordes de los objetos en movimiento y al efecto de desenfoque de movimiento (*motion blur*). Un aumento en la frecuencia de captación implica un aumento de la velocidad de obturación en la cámara generando así imágenes más nítidas con un efecto de desenfoque de movimiento reducido.



Efecto de la variación de la velocidad de obturación sobre el desenfoque de movimiento.
Fuente: Wikimedia.

El tiempo de obturación que se utiliza habitualmente corresponde con la mitad del tiempo disponible. Así, cuando se configura la cámara para grabar 25 fotogramas por segundo (fps) habitualmente se utiliza un tiempo de exposición de $1/50$. Con 25 fps el tiempo máximo posible de obturación sería $1/25$.

La costumbre de obturar a la mitad del valor los fotogramas por segundo viene heredada de los tiempos de las cámaras de cine de soporte fotoquímico donde un obturador mecánico de forma circular tapaba el fotograma la mitad del tiempo disponible (180°) para dar tiempo al sistema a arrastrar la película para exponer el siguiente fotograma. Ese es el motivo por el que se utilizan los grados como unidad de medida: 360° es todo el tiempo posible, 180° la mitad de los fotogramas por segundo y 90° un cuarto. En la actualidad con las cámaras de cine digital se sigue manteniendo esta costumbre de utilizar 180° es decir la mitad del tiempo disponible.



La obturación en la mecánica de la cámara de cine fotoquímico se medía en grados de una circunferencia. Fuente: Cabellos/ Roche

Para Ultra HD y para cine digital se han especificado resoluciones temporales superiores que se conocen como **High Frame Rate (HFR)**. Cuando se amplía el tamaño de representación, es

decir, para pantallas de mayor tamaño, es conveniente también aumentar el número de fotogramas por segundo para obtener mayor nitidez y reproducir fielmente el movimiento. Las frecuencias de 48 fps o superiores se consideran HFR.

Estéticamente hay una diferencia notable: el desenfoque de movimiento que el espectador está acostumbrado a ver en el cine grabado a 24 fps, resulta artísticamente interesante. La frecuencia HFR produce, a veces, una sensación más fría y más real que puede no agradar a todo el mundo. Pero los gustos del público también evolucionan con la tecnología y la calidad de la representación del movimiento con mayor nitidez se está imponiendo.

Cuando el movimiento se percibe con un efecto estroboscópico, con tirones o falta de suavidad, es debido a dos factores: la ausencia de desenfoque de movimiento y una resolución temporal insuficiente. Al contrario, las imágenes grabadas y reproducidas en HFR son más nítidas (por la ausencia de desenfoque de movimiento) y el movimiento es más suave.

La norma BT-2020 contempla, además de los 48 fps, frecuencias de 50 y 60 fps en exploración progresiva. Los proyectores de cine digital, siguiendo la norma DCI, también incluyen la posibilidad de proyectar en las salas de exhibición a 48 fps.

Los nuevos desarrollos para la televisión Ultra HD consideran valores de resolución temporal más altos aún. En las recomendaciones de DVB (Digital Video Broadcasting) y SMPTE (Society of Motion Picture & Television Engineers) está previsto alcanzar los 120 fps. Las cámaras de cine profesional, e incluso alguna de gama inferior, ya ofrecen también la posibilidad de aumentar la resolución temporal.

Las frecuencias más habituales en difusión son: 25 fps, 29,97 fps, 24 fps, 23,98 fps y 48 fps. En la siguiente tabla se detallan los contextos donde se usan:

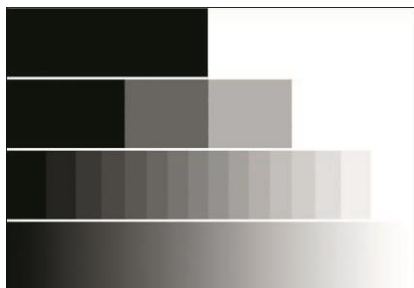
Frecuencias de fotogramas por segundo más habituales

25 fps	Es la frecuencia que se usa en la televisión PAL, en Europa y en las regiones del mundo donde la electricidad es de 50 hz.
29,97 fps	Es la frecuencia que se utiliza en la televisión en color NTSC, en Estados Unidos y en las demás regiones del mundo donde la frecuencia eléctrica es de 60 hz.
24 fps	Es la frecuencia que se utiliza tradicionalmente en cine.
23,98 fps	Es la frecuencia que se utiliza en el cine digital para facilitar las conversiones a la frecuencia 29,97 de la televisión en color NTSC.
48 fps	Es un estándar de resolución temporal opcional en la exhibición de cine digital.

Profundidad de color

Otro indicador fundamental de la calidad de una imagen digital es la **profundidad de color** (*color depth*) o **profundidad de bits** (*bit depth*), que indica la cuantificación de la señal, es decir, cuántos bits se utilizan para describir cada píxel.

Con este dato se expresa cuántos valores distintos de brillo y color están disponibles para codificar la imagen.



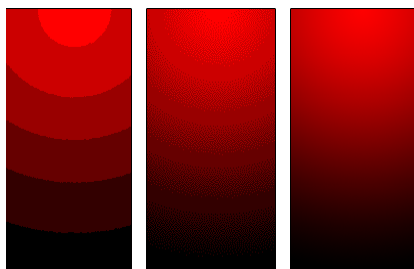
Escala de grises con 1, 2, 4 y 8 bits. Fuente: Johnpaulcaponigro.

La profundidad de color mínima en los equipos profesionales es de 8 bits por cada componente RGB, pero actualmente, ya sea en fotografía, en vídeo o en cine digital, se pueden utilizar 10, 12 o incluso 16 bits para cada canal RGB.

Estos valores permiten aumentar la gama de colores hasta niveles iguales o superiores a los que puede percibir el ojo humano y superiores también a los sistemas de monitorización de los que disponemos en los ordenadores.

Este incremento de la capacidad de codificación de los matices de brillo y color se aprecia en la representación de degradados evitando los artefactos conocidos como *color banding*.

Una condición indispensable para la correcta masterización en HDR es que todo el flujo de trabajo, desde captación a emisión, se realice al menos a 10 bits de profundidad de color.



Efecto color banding. Fuente: Wikipedia.

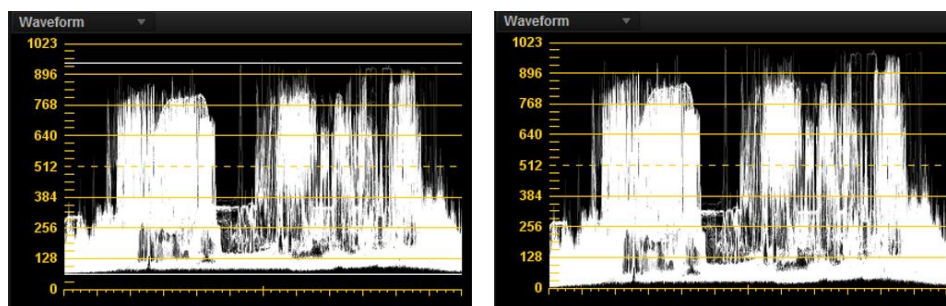
Rango legal y rango extendido a 8 y 10 bits

Una cuestión importante de los archivos de vídeo es el nivel máximo y mínimo de brillo permitido. Las normas técnicas de radiodifusión televisiva establecen unos niveles determinados para el blanco puro y el negro puro, pero en exhibición de cine digital o en las pantallas de ordenador se utiliza una norma distinta lo que implica modificar los niveles de brillo y contraste del máster en función del uso que se le vaya a dar: cine, televisión o internet.

Para el ajuste de los niveles de brillo en los sistemas de rango dinámico estándar (SDR) existen dos modelos: se denomina rango legal (rango nominal, señal legal o vídeo) a los niveles de señal

para la televisión mientras que el material ajustado para cine digital utiliza el rango extendido (señal extendida o data).

Para la codificación a 8 bits de la señal de luminancia se disponen de 256 valores que se corresponden con una gama de grises. En rango legal, el valor máximo permitido que se usa para el blanco puro es 235. El negro puro se sitúa en el valor 16. Cuando se dispone de 10 bits para codificar la señal, el rango total de valores disponibles es de 1.024. En este caso los valores de la señal legal están entre el 940 que se utiliza para el blanco y el 64 para el negro.



Ajustes de una misma imagen a los niveles del rango legal y extendido.

En cine se utiliza el rango completo que nos permite la codificación digital: el rango extendido. Los blancos se sitúan en 255 para la codificación con 8 bits y en 1.023 con 10 bits. En ambos casos los negros se sitúan en 0.

En la siguiente tabla se resumen los valores utilizados en el rango legal y extendido, tanto para la codificación en 8 bits como en 10 bits.

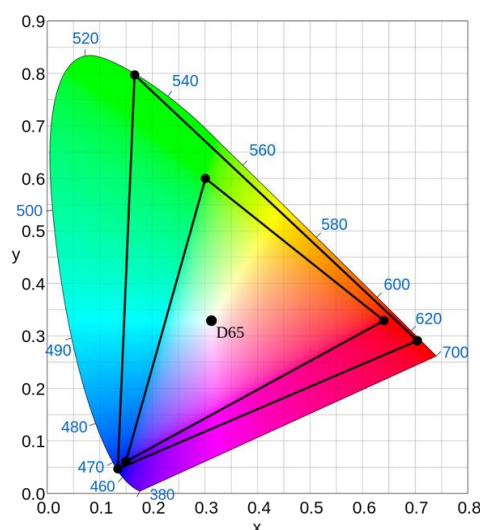
	Señal legal / Vídeo Televisión	Señal extendida / Data Cine digital
Codificación 8 bits	16-235	0-255
Codificación 10 bits	64-940	0-1.023

Con las nuevas normas de HDR estos valores siguen teniendo vigencia: HLG funciona en emisión en rango legal para ser retrocompatible con BT-709. La norma PQ puede funcionar en legal o extendido.

Espacio de color o gamut

Un gamut de color es el conjunto de colores que se pueden utilizar en una determinada norma. El gamut de la norma BT-2020 para Ultra HD es mucho más amplio que el de la norma BT-709

de televisión HD. En la siguiente figura se puede observar un gráfico que representa estos dos gamuts en el sistema de coordenadas CIE-1931¹.



Gamut de color de las normas BT-709 y BT-2020. Fuente: Andrew Michael.

El **gamut BT-709** corresponde a la norma de televisión HD y es el que se utiliza actualmente en todos los monitores, pantallas de ordenador, televisores y proyectores de vídeo.

El **gamut BT-2020** está todavía en una fase experimental y prácticamente no existen monitores en el mercado que trabajen en este espacio de color al completo. Los televisores 4K que se están comercializando utilizan todavía el espacio de color y gamma de BT-709. Para que se generalice el uso del espacio de color BT-2020 habrá que esperar a una nueva generación de pantallas.

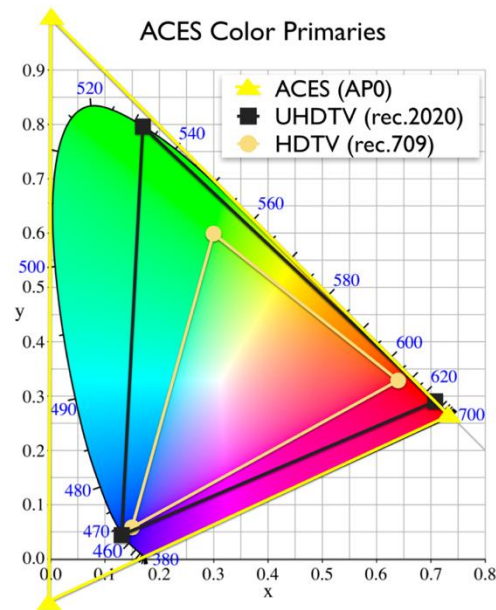
Para la proyección de cine digital, DCI ha definido un gamut de color específico: el DCI-P3. El **gamut DCI-P3** no es tan amplio como el de la norma BT-2020, pero es mayor que el de la norma BT-709. Todos los proyectores de cine digital instalados en las salas de exhibición utilizan este espacio de color. Los monitores profesionales y proyectores que se utilizan en postproducción y corrección de color se pueden ajustar a los parámetros de DCI-P3.

Los distintos estándares de HDR también vienen acompañados de un gamut de color ampliado (*Wide Color Gamut*). Dependiendo de la norma se puede masterizar en P3 o BT-2020.

Para asegurar la compatibilidad futura en cuanto al color, se ha definido un nuevo espacio de color más amplio y que ofrece mayor flexibilidad para la codificación del color: el **Academy Color Encoding System (ACES)**. ACES tiene un sistema de coordenadas mucho más amplio que los sistemas anteriores y se postula como el sistema de color que mejor resistirá el paso del tiempo y el ideal para el cine de ficción, la producción de efectos especiales, la masterización y el archivo a largo plazo. La Academia de Cine de Hollywood se ocupa del desarrollo técnico de ACES y es ya habitual que los flujos de trabajo de postproducción para cine y series de televisión utilicen

¹ CIE XYZ, es un sistema matemático para definir un color con tres coordenadas (X, Y y Z) creado en 1931 por la *Comission Internationale de l'Éclairage*.

ACES. De esta forma se obtiene un máster en ACES a partir del cual se podrán hacer las copias que sean necesarias en BT-2020, DCI-P3 o BT-709.



Gamut de color de ACES. Fuente: Nanosys.

Rango dinámico, contraste, y función de transferencia

El **contraste** de una imagen es la diferencia entre el nivel más alto de brillo y el más oscuro. La capacidad de representación del contraste se denomina **rango dinámico**. En las cámaras el rango dinámico se mide en pasos de diafragma (f-stops) y en las pantallas en Nits (candelas por m²), entre otras posibles unidades.

El rango dinámico de una imagen digital es la capacidad que tiene dicha imagen de representar correctamente el contraste, las altas luces y las sombras profundas de la imagen original de la realidad.

El contraste en la naturaleza es mucho más grande que en las imágenes que vemos en un monitor o proyector. La cámara, con su ciencia de color, junto al propio monitor o proyector, se encarga de hacer esa transformación. Esa tarea se denomina **Tone-Remaping**. Es decir, asignar un nivel de brillo a cada píxel de la imagen en función de la intensidad de luz que incide en el sensor de la cámara.

Cuando la luz alcanza el sensor, la cámara genera una señal eléctrica. La conversión y distribución de los distintos valores de luz (ópticos) a valores de voltaje (eléctricos) se denomina **OETF: Optical Electrical Transfer Function**. La OETF es una 'función de transferencia'. Las funciones de transferencia se expresan gráficamente mediante 'una curva'; por ejemplo, una "curva" de gamma, lineal o logarítmica. Hay OETFs que se usan muy habitualmente como por el ejemplo la de [Rec.709] que es una curva de Gamma 2,4. Las curvas logarítmicas de las cámaras, como por ejemplo la de la Arri Alexa [Arri LogC], son también OETF.

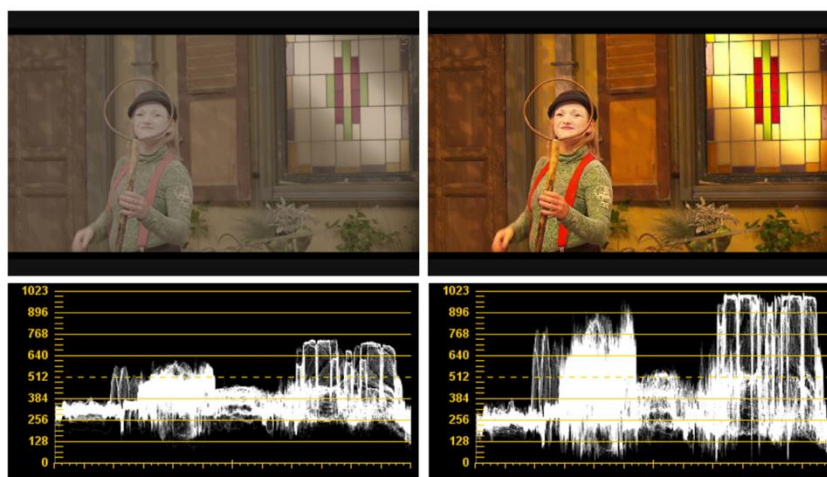
Los monitores y los proyectores de cine, a la inversa que las cámaras, convierten la señal digital en una señal eléctrica que aplicada a los leds del panel se convierten de nuevo en luz. En esa transformación se tiene que ajustar a la capacidad de contraste y brillo de esa pantalla en concreto. Esa función de transferencia se denomina **EOTF: Electro Optical Transfer Function**. Para cada una de las normas de difusión como [DCI-P3], [Rec.2020], [Rec.709], [Dolby PQ], etc. está definida y normalizada una EOTF específica.

Por lo tanto, existe toda una cadena de transformaciones del contraste y el brillo de la imagen desde la proyección óptica de la luz en el sensor de la cámara hasta llegar a las distintas pantallas de exhibición de las obras audiovisuales.

Para registrar 14 o 15 f-stop de rango dinámico, las cámaras de cine digital aplican una **curva logarítmica** que genera una señal que se percibe como de bajo contraste con un aspecto plano y lavado cuando visionamos en una pantalla SDR con gamma 2,2 o 2,4. Posteriormente, en postproducción se ajusta el contraste para componer una imagen atractiva, adaptada a los 6-9 f-stops de los monitores actuales SDR de 100 nits. Con este procedimiento se consigue más detalle en las altas luces y las sombras.

No hay un estándar de curva logarítmica, cada fabricante tiene la suya propia (Arri, Red, Sony, Canon, Panasonic, etc.), aunque todas están más o menos basadas en la curva de CINEON de Kodak. Para ver correctamente estas imágenes en los monitores actuales SDR se hace una conversión -mediante una **LUT** o un proceso de gestión de color- para adaptar la señal a la norma BT-709. Pero en ese momento, ya estamos en el entorno BT-709, y se han perdido el alto rango dinámico de la curva original de cámara y gamut de color ampliado (Wide Color Gamut, WCG).

En la siguiente imagen se puede observar un plano capturado con una cámara Sony F5 en 4K con curva de gamma logarítmica y el resultado final después de un ajuste del contraste.



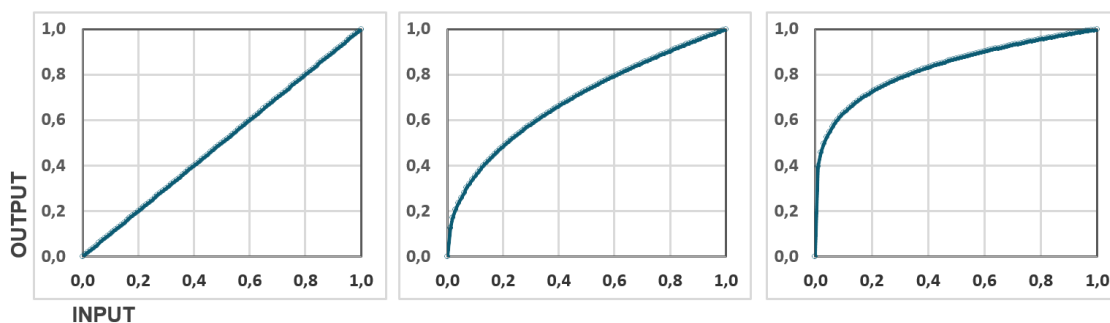
Ajuste de contraste de un plano grabado con la cámara Sony F5 en 4K con OETF logarítmica.

Con las **curvas logarítmicas** se obtienen imágenes de mayor calidad ya que se evita quemar las altas luces y empastar las sombras como hacen habitualmente las cámaras que registran con rangos dinámicos inferiores. Pero es necesario un proceso de postproducción y corrección de color hasta alcanzar el aspecto definitivo de las imágenes.

Simplificando un poco las cosas con fines didácticos, consideramos que las cámaras pueden utilizar tres tipos de curvas u OETF:

- **OETF logarítmica.** Es una curva que optimiza el rango dinámico. Genera una imagen más lavada cuando se ve en un monitor SDR que requerirá un proceso posterior de corrección de color. Se utiliza en grabación de imágenes de alta calidad: cine, ficción televisiva, publicidad, etc.
- **OETF Gamma (0,45).** Es como funciona la gamma BT-709. Genera un contraste adecuado para la visualización final en una pantalla SDR con EOTF 2,4. Se consigue menos rango dinámico pero el material sale de la cámara con un look más definitivo. Se utiliza en producciones donde no está prevista la corrección de color en postproducción: televisión de flujo, reportajes informativos, directos, etc.
- **OETF lineal (1,0).** Recoge directamente la información que genera el sensor. Se utiliza en los formatos raw y en flujos de trabajo avanzados como efectos visuales (VFX) o producciones en espacios de color más amplios como ACES.

En la siguiente figura se muestra la forma de estos tres tipos de curva OETF.



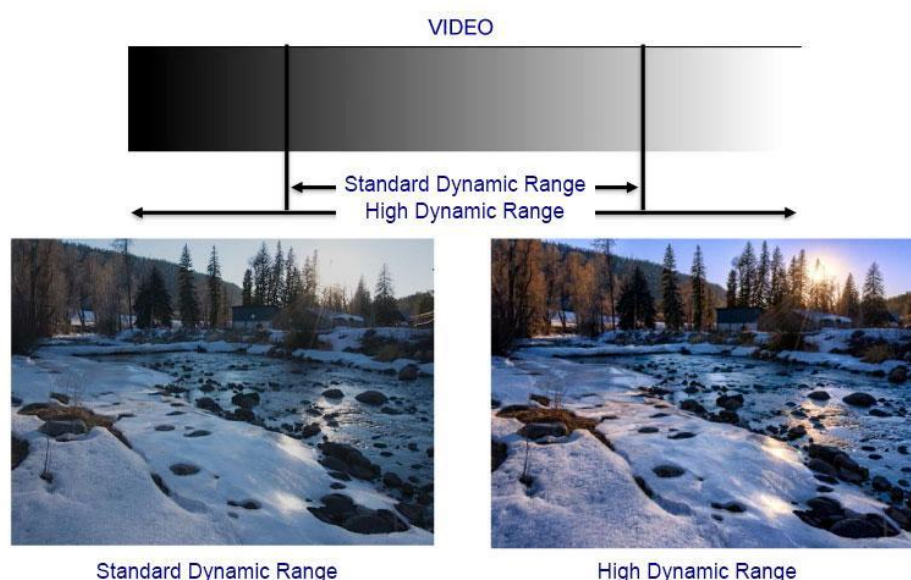
Formas típicas de las curvas: lineal, gamma y logarítmica.

Cada fabricante de cámaras tiene su propia curva logarítmica (log) y la correspondiente LUT² para hacer la conversión a BT-709.

² LUT son las siglas de Look Up Table. Es un archivo que contiene unas fórmulas matemáticas que actúan sobre el color de una imagen. Por ejemplo, se puede utilizar una LUT para convertir una imagen logarítmica a la norma BT-709. También se suelen utilizar para aplicar un 'look' determinado o unos ajustes de corrección de color.

HDR: Alto Rango dinámico

Las imágenes con alto rango dinámico (High Dynamic Range, HDR) tienen más detalle en las altas luces, en las sombras y en los tonos medios. Sus valores máximos de luminancia son más brillantes y los mínimos más oscuros. Con esta tecnología se persigue una nueva experiencia de usuario con una representación en pantalla más cercana a la visión directa de la realidad.



Alto rango dinámico (HDR) y rango dinámico estándar (SDR). (Simulación)

HDR es una tecnología para una nueva generación de monitores y pantallas con mayores prestaciones que las actuales y afecta a toda la cadena de producción y distribución de contenidos audiovisuales. Tiene implicaciones en las cámaras de cine y televisión, en la masterización de los contenidos, en las redes de distribución y, finalmente, en las pantallas donde se presentan las imágenes.

SMPTE propone una definición para un sistema de alto rango dinámico como aquel que “está especificado y diseñado para capturar, procesar y reproducir una escena, cubriendo todo el rango perceptible de detalle en las sombras y las altas luces, con suficiente precisión y un nivel aceptable de artefactos, incluyendo una separación suficiente entre el blanco difuso y las altas luces especulares”.

La pretensión de la tecnología HDR es que al ver la televisión tengamos una sensación parecida, en términos de contraste, a la que tenemos cuando abrimos una ventana y miramos el mundo real.

Conviene no confundir la tecnología HDR con lo que en fotografía de imágenes fijas se llama también HDR. Una técnica por la cual se mezclan en una sola imagen, distintas exposiciones para conseguir más detalle en las sombras y las altas luces (*Tone Mapping*). El objetivo final es similar pero la técnica es completamente distinta para la televisión y el cine.

“Although it’s using rather different techniques, HDR video is often likened to HDR photography as their aims are similar: to capture and reproduce scenes with a greater

dynamic range than traditional technology can, in order to offer a more true-to-life experience. With HDR, more detail is visible in images that would otherwise look either overexposed, showing too little detail in bright areas, or underexposed, showing too little detail in dark areas.” (Geutskens 2016)

La implantación de una nueva tecnología como el HDR requiere un proceso de normalización técnica internacional (estandarización) para que los distintos actores de la industria (productores, distribuidores y fabricantes de pantallas) puedan interoperar. La normalización técnica empieza por los equipos de recepción, es decir, por los monitores profesionales, los televisores y los proyectores de cine. Una vez definido el estándar de los dispositivos de consumo, los fabricantes de cámaras y proveedores de contenido pueden preparar el material HDR y su distribución para una correcta recepción por parte del usuario final.

También conviene señalar que las condiciones de visionado de una sala de cine y de un televisor en un hogar son muy distintas. La sala oscura favorece la representación de las sombras, pero si se aumenta demasiado el brillo de las altas luces, surge un problema con la reflexión de luz en la sala -en las paredes, en el mobiliario y en los rostros de los espectadores- que afecta a la profundidad de los negros.

Actualmente existen distintos estándares y soluciones establecidas por diferentes empresas:

- SMPTE tiene la norma ‘ST-2084’, el primer estándar internacional de HDR.
- Las cadenas televisivas BBC y la NHK han propuesto la ‘Hibryd Log Gamma (HLG)’

Otras empresas del sector también están aportando sus propias soluciones intentando posicionarse en este nuevo mercado.

- Cabe destacar el sistema de Dolby, Dolby-Vision, pionero del HDR, por ser la primera empresa que ha ofrecido una solución completa que cubre toda la cadena de producción distribución y exhibición de imágenes con alto rango dinámico. El modelo de Dolby, Dolby Perceptual Quantizer (PQ), está recogido en la norma SMPTE ST-2084.
- Otras empresas, como Philips en colaboración con Thomson o la asociación Blu-ray Disc, también han avanzado en este campo.

Pantallas de alto rango dinámico

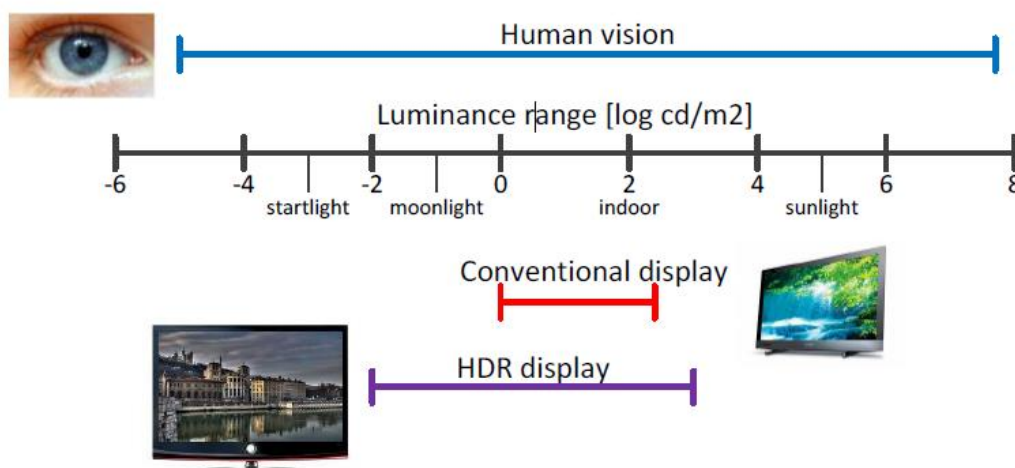
El reto que se plantea con el alto rango dinámico es aumentar el nivel máximo de brillo de las pantallas y a la vez bajar el nivel de negros. Se está avanzando en estas dos direcciones: las nuevas pantallas de alto rango dinámico (HDR) pueden presentar imágenes con más detalle en las altas luces y en las sombras profundas.

Cuanto mayor sea el rango dinámico de un monitor más capacidad tendrá de presentar detalle en las altas luces. La unidad que se utiliza para medir el brillo de una pantalla es el nit, o lo que es lo mismo, ‘candelas por metro cuadrado’ (cd/m^2). En nits se mide el nivel máximo de brillo de una pantalla, que se corresponde con el blanco puro, y el mínimo, que representa el negro.

La ratio de contraste es el valor que expresa la capacidad de una pantalla para la reproducción del contraste, es decir, la división entre el nivel máximo y mínimo de brillo que puede reproducir. Por ejemplo, un televisor cuya capacidad máxima de brillo es de 100 nits y la mínima de 0,1 nits tiene una ratio de contraste de $100/0,1$ es decir de 1.000:1. Este es el estándar actual para los televisores SDR. Si aumentamos el brillo máximo a 400 nits manteniendo el nivel de negro en

0,1 nits, obtendremos una ratio de contraste de 4.000:1. Es decir se ha incrementado la ratio de contraste y, por lo tanto, el rango dinámico.

En el siguiente gráfico podemos comparar la diferencia de capacidad de la visión humana con las pantallas convencionales y las nuevas de alto rango dinámico.



Fuente: Pierre Andrivon. Technicolor.

La visión humana tiene mucha capacidad para ajustarse a los distintos niveles de luminosidad de una escena porque dispone de unos mecanismos muy complejos y eficientes de microadaptación, por lo que resulta muy difícil comparar el ojo humano con una cámara o una pantalla.

Las cámaras de cine tradicionales para película fotoquímica y las nuevas cámaras digitales son capaces de captar un rango dinámico muy amplio de unos 15 o 17 f-stops. El problema está en que las pantallas y los proyectores digitales han tenido hasta ahora una capacidad muy limitada de contraste y rango dinámico, aproximadamente entre 6 y 9 f-stops, con una ratio de contraste de 1.000:1. Por lo tanto, el centro de atención actualmente está en la fabricación de una nueva generación de pantallas con mayores prestaciones para la representación del contraste.

La idea de producir pantallas de televisión HDR surgió hace unos años cuando los fabricantes empezaron a utilizar los LED (*Light Emitting Diodes*) con mejores respuestas en términos de color y brillo. El desarrollo de pantallas OLED, con 'semiconductores orgánicos' y sin necesidad de retroiluminación, ha mejorado aún más estas prestaciones. Otros sistemas y patentes como QLED, AMOLED o NanoCell se están utilizando para la fabricación de pantallas domésticas HDR.

Con estas nuevas tecnologías, los fabricantes han sido capaces de crear pantallas más brillantes manteniendo muy bajos los niveles de las sombras donde el contraste es más amplio. Muchas pantallas HDR son capaces de alcanzar un nivel máximo de brillo de 1.000 nits, pero los estándares prevén para el futuro hasta 10.000 nits. De esta forma, la industria está sentando las bases para un gran paso adelante en la representación de imágenes: el paso de la televisión HD con rango dinámico estándar (SDR, *Standard Dynamic Range*) y un valor máximo de brillo de 100 nits, hacia la Ultra HD con alto rango dinámico.

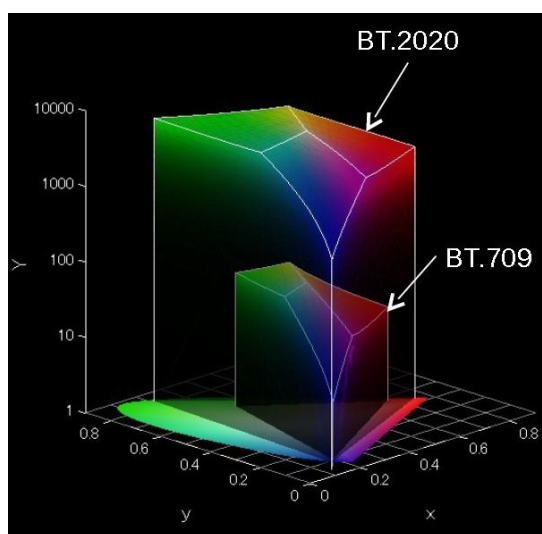
HDR también podría encontrar su cancha en las pantallas HD, es el llamado 'HD Enhanced', aunque para los fabricantes resulte más rentable vincularlo exclusivamente a las nuevas pantallas de Ultra HD.

Para la exhibición de cine en salas se está trabajando con proyectores láser capaces de mantener los negros en niveles muy bajos aumentando la ratio de contraste y el rango dinámico y minimizando el impacto en la luz ambiente.

Otra tecnología para salas que ha desarrollado Samsung son grandes pantallas LED llamadas Onyx que mejoran del rango dinámico. La proyección se realiza a unos 100 nits (el estándar de brillo en cine SDR son 48 nits) y las pantallas Onyx pueden emitir hasta unos 500 nits.

Los dos estándares actuales de HDR para cine son Dolby Vision (proyección) y Eclair Color (proyección y Onyx). Ya existe un estándar aprobado de sistema HDR para la proyección DCI libre de patentes, aunque aún no hay implantación práctica.

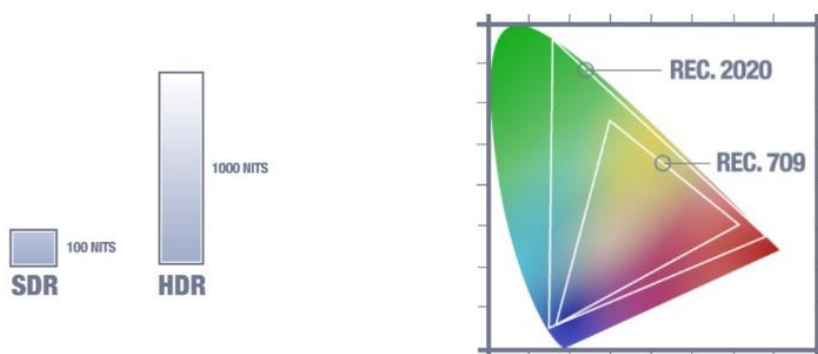
El rango dinámico está también en relación directa con los espacios de color. En el siguiente gráfico se pone en relación el nivel de brillo con la representación de color. Se puede apreciar como el gamut de color ampliado de la norma de Ultra HD (BT-2020), no tiene sentido si no viene acompañado de un incremento del rango dinámico. Para presentar todos los niveles de brillo del color de Ultra HD hace falta un monitor HDR.



Gamut de color BT-2020 y BT-709 puestos en relación con la luminosidad del monitor: BT.2020 (10,000 nits) versus BT.709 (100 nits). Fuente: Sony.

Cabe señalar que estos valores de rango dinámico no se pueden conseguir con una profundidad de color de 8 bit por canal. Son necesarios 10, 12 o 16 bits para registrar toda esta información.

Resumiendo, las imágenes Ultra HD de 'alto rango dinámico' (HDR) contienen mucha más información de brillo y color para cada pixel que las HD con 'rango dinámico estándar' (SDR). Esto afecta no solamente a los valores de luminosidad máxima y mínima sino también al espacio de color.



Fuente: “HDR Survival Guide” (Valentic 2016)

Conviene puntualizar que el propósito del alto rango dinámico no es crear imágenes más brillantes y con más color, sino presentar en la pantalla mayor nivel de detalle sobre todo en las altas luces. Una información que normalmente se pierde al quedar quemada o ‘clipeada’. También se persigue conseguir colores más realistas y cercanos a la visión directa de la realidad (*life-like*).

Otra cosa importante para tener en cuenta es que no todas las imágenes requieren estos niveles de rango dinámico. Si la escena que se está representando no tiene ratios de contraste lumínicos muy altos, no será necesario aprovechar toda la capacidad que ofrece un monitor HDR. Se notará la diferencia solo en aquellos planos que lo precisen. Por ejemplo, una escena grabada en interiores con iluminación controlada no necesita el mismo nivel de contraste que un contraluz en exteriores un día soleado.

Funciones de transferencia para monitores HDR

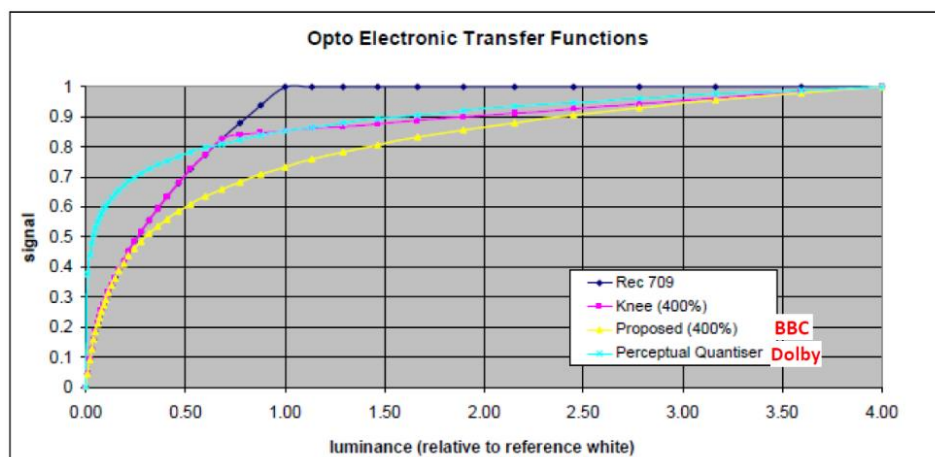
Como ya hemos comentado el proceso de corrección de gamma en monitorización se denomina *Electro-Optical Transfer Function* (EOTF) y proviene de los tiempos de los televisores de tubo (CTR). Todas las pantallas actuales siguen las recomendaciones BT-709 y aplican una corrección de gamma de 2,4, un procedimiento con muchas limitaciones que ya no tiene cabida en el mundo Ultra HD y el HDR.

En captación se utiliza una curva inversa, la *Opto-Electronic Transfer Function* (OETF). Las OETF son las curvas que utilizan los fabricantes de cámara para maximizar el rango dinámico en captación (curvas log) o para generar directamente imágenes procesadas listas para la emisión (curva de gamma estándar BT-709).

Corrección de gamma en captación y en monitorización

EOTF	<i>Electro-Optical Transfer Function</i>	Corrección en monitorización. Es una función que asigna un nivel de brillo en el monitor a cada valor de codificación digital.
OETF	<i>Opto-Electronic Transfer Function</i>	Curva que se aplica en la cámara. Es una función que asigna un valor de codificación digital a los distintos niveles de brillo de la escena que la cámara está captando.

En el siguiente gráfico se pueden comparar las propuestas de OETF para HDR que han planteado Dolby (Dolby-Vision) y la BBC (HLG HDR) con la curva BT-709. Se puede observar cómo la curva BT-709 se rompe en las altas luces y como las nuevas propuestas corrigen este problema.



La cuestión que se plantea para las nuevas pantallas HDR es definir una (o varias) curva estándar EOTF que aproveche toda la capacidad de representación del alto rango dinámico y deje atrás las limitaciones de la norma BT-709. Esta tarea se está abordando en las organizaciones internacionales de normalización técnica como SMPTE, ISO o ITU, entre otras.

La estandarización de una curva EOTF que se integre en todas las pantallas es un paso previo fundamental para la implantación de la tecnología HDR. Todas las pantallas se han de comportar igual independientemente de la marca y el fabricante. De esta forma los proveedores de contenido y los fabricantes de cámaras pueden preparar el material para estos dispositivos. Por el momento los fabricantes hacen compatibles sus pantallas con los distintos estándares que hay en la actualidad y parece que no se producirá una unificación a una sola EOTF.

La norma SMPTE ST-2084

La norma técnica SMPTE ST-2084 es la más utilizada para masterizar, distribuir y consumir contenidos en HDR. Muchos fabricantes, como Sony, Panasonic o Samsung, incorporan esta norma para sus nuevas pantallas HDR.

La agencia de normalización americana SMPTE ha adoptado una parte de la solución de Dolby-Vision, "Dolby Perceptual Quantizer (PQ)", que se ofrece como estándar libre de royalties.

La norma propone un estándar de curva EOFT para pantallas de 10.000 nits que consigue incrementar el detalle en las altas luces. Esto puede apreciarse en la siguiente imagen con los histogramas de una imagen en SDR y HDR. Se ve el 'clipeo' en la señal SDR en el nivel de 100 nits y el detalle en HDR hasta los 10.000 nits.

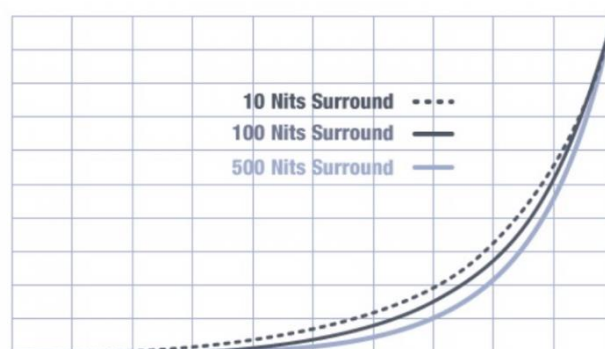


La EOTF 2084 es la empleada tanto en el sistema Dolby Vision como en HDR10.

La norma Hybrid Log-Gamma (HLG)

Hybrid Log-Gamma (HLG) es un estándar para alto rango dinámico desarrollado conjuntamente por la BBC y la NHK japonesa. Se publicó en 2015 en ARIB, la agencia japonesa de normalización técnica (*Association of Radio Industries and Businesses*) (ARIB STD-B67). La HLG tiene en consideración la compatibilidad con las pantallas de rango dinámico estándar (SDR) y no utiliza metadatos.

Propone una curva diferente para los distintos niveles de brillo máximo de las pantallas con un límite recomendado de 5.000 nits. Una cuestión interesante de esta solución es que tiene en consideración la luminosidad ambiental que también afectará a la curva. En el siguiente gráfico se puede ver un ejemplo de cómo la curva cambia en función de los cambios de luz ambiente.



La mayor diferencia que existe entre la EOTF PQ (SMTP-2084, Dolby Vision), y la EOTF-HLG (BBC, NHK) es la necesidad de “adaptación” a los distintos brillos de monitores. ¿Qué significa esto?

Si en una pantalla SDR BT-709 con gamma 2,2 ó 2,4 aumentamos el brillo por encima de los 100 nits (medida de calibración para el estándar Rec709), simplemente veremos la imagen más brillante. En un monitor HDR con la EOTF HLG ocurriría algo similar. Si el monitor es de 1.000 nits, o de 400 nits, o de 10.000 nits la curva EOTF se adaptará y veremos el mismo contenido con más o menos brillo.

Sin embargo, esto no funciona así empleando en los monitores la EOTF PQ, ya que esta utiliza valores “absolutos”: es decir, relaciona cada nivel del brillo del monitor con un valor de la señal en 10 bits.

Pongamos por caso que hemos masterizado un contenido con EOTF PQ empleando un monitor de referencia de 2.000 nits. Eso significa que según la escala de la EOTF PQ el máximo valor de brillo en una escala de 10 bits (de 0 a 1.024) ha de ser 844.

El problema viene cuando ese contenido se presenta en un monitor con la EOTF PQ con un nivel de brillo distinto. Si por ejemplo se muestra en un monitor de 1.000 nits, todos los valores por encima de 767 se verán completamente recortados (clipeados o quemados).

Por tanto, los contenidos generados con curva PQ precisan de una serie de metadatos que acompañen al material (la *media*) y hagan que el vídeo se adapte a los televisores en función de sus distintos niveles de brillo.

En esta “guerra de metadatos” el sistema más cerrado es el de Dolby, que generan los suyos propios, previo pago de una licencia Dolby, y sólo son entendidos en los televisores certificadas Dolby Vision. Dichos metadatos son llamados “dinámicos” al contener los cambios pertinentes de contraste plano por plano. Estos metadatos se encuentran recogidos en el estándar SMPTE-2094-10. La mayor ventaja de estos metadatos de Dolby Vision es que permiten no solo la transformación a distintos niveles de HDR, sino también una “bajada” de HDR a SDR. Es decir, un master Dolby Vision puede contener una media en HDR y unos metadatos que permitan transformar esa media HDR en SDR. Estos metadatos trim pass serían creados por los coloristas, pudiendo ser plano a plano, lo que asegura la calidad creativa de la transformación.

En el otro extremo se encuentran los metadatos de la norma SMPTE-2086, propuestos como complemento del estándar SMPTE-2084. Dichos metadatos son libres para que cualquier televisor sea capaz de entenderlos, pero son “estáticos”. Sólo contienen la transformación para el contenido completo, no plano a plano. Estos metadatos son los empleados en el estándar denominado HDR10. Estos metadatos, a diferencia de Dolby Vision, no permiten la “bajada” a SDR desde ellos, solo son usados para adaptar a distintos niveles de HDR.

Se encuentran también diversos otros estándares de metadatos dinámicos con carácter más o menos comercial, como el SMPTE-2094 40 empleado en HDR10+ de Amazon y Samsung o los empleados por Phillips y Technicolor (SMPTE-2094 20 y 30 respectivamente). Además China tiene su propio sistema abierto denominado HDR Vivid, muy similar a Dolby Vision.

De modo que Dolby Vision ha quedado como el estándar “Premium” empleado por plataformas como Netflix, Apple o Movistar mientras que HDR10 es en la actualidad solicitado por Amazon o Vix+, aunque probablemente también transicionen a Dolby Vision.

HLG es usado para contenido en directo en HDR, pero no para ficción, documental, etc.

Algunos de los programas que generan estos metadatos son Clipster, Mist o Colorfront Transcoder.



Colorfront Transkoder en una estación de trabajo HP Z840

Como profesionales de la creación de imágenes la pregunta que nos surge es cómo será la aceptación que tendrán estas nuevas imágenes en los públicos del cine y la televisión. El cine, la televisión, la fotografía, la pintura, etc. han creado los cánones estéticos vigentes en nuestra cultura. El aumento de las ratios de contraste de la representación puede suponer un cambio de paradigma desde la perspectiva de la creación artística. No es un reto sencillo para directores de fotografía y coloristas.

Etalonando en HDR unos brillos sutiles en el rostro de un personaje se pueden convertir en un defecto difícil de corregir en una pantalla HDR más brillante. También es cierto que los planos generales exteriores con detalle en las altas luces darán unas imágenes magníficas. Además, el tratamiento de las sombras y los detalles de los tonos medios son muy interesantes. En este sentido se pronuncia el colorista Dado Valentic entusiasta de esta tecnología:

“It is refreshing to see that HDR is one of those technologies and innovations that won’t require any heavy marketing for it to be accepted by the end user. Once you glance at an HDR TV screen you won’t need any convincing – images look much better, fresher, and more exciting. If 3D was interesting for its novelty and the 4K advantages were not visible to all, it is clear to see that HDR is not going to fall into any of these two categories.”
(Valentic 2016)

Será necesario también un proceso de adaptación del público, acostumbrado tradicionalmente a las limitaciones del SDR que se va a encontrar con nuevas imágenes ‘distintas’ a las que se han producido con anterioridad y que no tienen por qué agradarle desde el primer momento.

La realidad es que tras un tiempo de trabajo y adaptación a estos nuevos sistemas HDR son muchas más las ventajas que los problemas. Una vez pasada la etapa de aprendizaje y confusión técnica se abren sutiles nuevos horizontes de tratamientos de imagen: no solo en las altas luces, sino en sombras, medios tonos y texturas de imagen. Es sin duda uno de los mayores logros de la cinematografía actual y la UHD.

Referencias sobre HDR

La siguiente imagen es el vínculo a un video de Youtube realizado por la Comunidad de Madrid con unas entrevistas en profundidad sobre HDR con Chema Alba y David Taranilla de la empresa Deluxe Spain.



Video tutorial ¿Qué es el HDR?

En la página web de descargas del portal 709 MediaRoom se pueden descargar clips HDR de prueba. [Este es el vínculo:](#)



Para acceder a la zona de descargas de 709 MediaRoom hay que tener una cuenta de usuario gratuita.

También se pueden descargar en 709 MediaRoom las cartas de calibración y consultar una tabla de Monitores HDR que está en la sección “Artículos Especializados”.

Como documentación adicional, recomendamos estudiar los siguientes documentos sobre HDR del portal Netflix Partner Center:

	What is HDR?
NETFLIX HDR	HDR - Critical Color Reviews
	HDR On-Set Monitoring: Considerations & Best Practices

Gestión de color y ACES

La **gestión de color**, en inglés *Color Management*, es el entorno de trabajo en el que se realizan las transformaciones de espacios de color desde la captación de las imágenes hasta su difusión pasando por todos los procesos de postproducción intermedios. Veamos un ejemplo habitual en la industria audiovisual:

Para el rodaje se utiliza un cámara Alexa 35 que graba en espacio de color Arri Wide Gamut y la función de transferencia Arri LogC4. El monitor en el set para visionar el material es un Rec.709 con curva de gamma 2.4. El montaje se hace con material proxy en Rec.709. Los efectos visuales en ACES Linear light y La corrección de color en ACES CCT. La difusión en las plataformas digitales en Dolby PQ, la televisión SDR en Rec.709 y la exhibición en salas de cine en DCI P3.

Gestionar todas estas transformaciones asegurando la preservación de la calidad y la consistencia en todo el flujo de trabajo es la tarea de la gestión de color.

Todos los programas profesionales de edición de vídeo, de postproducción o de corrección de color tienen integrados sistemas de gestión de color, más o menos automatizados, que podemos configurar para adecuarlos al flujo de trabajo técnico que hayamos definido para la producción.

La Gestión de color implica identificar el espacio de color del material de cámara y las transformaciones que sean necesarias tanto para monitorización y como para el procesamiento del material y la exportación de los másteres de explotación.

Existen distintos sistemas de gestión de color. ACES es uno de ellos, pero existen otros que pertenecen a los fabricantes de software y hardware que también son válidos para realizar estas tareas. La ventaja de utilizar ACES es que es un estándar público y abierto. Todos los sistemas profesionales de edición y postproducción lo han implantado. Si utilizamos, por ejemplo, el sistema de gestión de color de DaVinci Resolve o el de Baselight estamos ante soluciones propietarias de esas empresas. Pueden parecer atractivos por ser más intuitivos, eficientes y fáciles de usar, pero solo están operativos en ese software particular. Por este motivo la plataforma Netflix, por ejemplo, impone el uso de ACES. Y la industria del cine a nivel global también.

ACES nos proporciona todas las herramientas necesarias para la gestión de color. Reconoce todos los perfiles de las cámaras profesionales, los dispositivos de visionado y está preparado para las transformaciones necesarias para generar todos los másteres: [Rec.709], [Rec.2020], [DCI-P3], [Dolby PQ], [HLG], etc. Es por lo tanto un sistema flexible que se adapta a las características de la industria del momento actual y compatible con los desarrollos que vengan en el futuro puesto que trabaja en el espacio de color más amplio posible.

Display referred y Scene referred

Hay dos aproximaciones que podemos tener a la gestión de color: *'display referred'* y *'scene referred'*.

- En *display referred*, la referencia es el espacio de color del monitor en el que estamos visionando el material o del proyector (en el caso en que hagamos la monitorización con un proyector de cine.)

- En *scene referred*, la referencia es el contraste de la escena, del set, con el espacio de color y el rango dinámico más amplio posible: en primera instancia el espacio de color de la cámara, y segunda instancia el espacio de color de intermediación en el que tengamos configurada la postproducción y corrección de color.

Si trabajamos en *Display Referred* transformaremos los brutos de cámara al espacio de color de la pantalla (*display*) que estamos usando para la monitorización. Por ejemplo, un monitor normal HD SDR con espacio de color [Rec-709] y curva de gamma 2,4. O si estamos en una sala de color con un proyector de cine usaremos [DCI-P3].

En la siguiente figura vemos en la imagen superior un plano grabado con una cámara Arri Alexa en [Arri LogC] tal y como se ve en un monitor [Rec-709]. Es una imagen sin contraste y con aspecto lavado porque está grabada con función de transferencia logarítmica y visualizada en un monitor [Rec.709]. Para verlo correctamente será necesario hacer la conversión al espacio de color del monitor mediante, por ejemplo, una Lut³ que nos proporciona el fabricante de la cámara: la Lut [Arri LogC to Rec-709]. El resultado de esta transferencia será una imagen normalizada con un contraste adecuado como se puede apreciar en la imagen de abajo.



Uso de una Lut para pasar del espacio de color [Arri LogC] a [Rec.709].

³ LUT son las siglas de *Look Up Table*. Es un archivo que contiene unas fórmulas matemáticas que actúan sobre el color de una imagen. Por ejemplo, se pueden utilizar Luts para hacer transformaciones de espacio de color. También se suelen utilizar para aplicar un *look* determinado o unos ajustes de corrección de color.

El inconveniente de esta forma de trabajar es que el espacio de color y rango dinámico de cámara Arri Alexa es mucho más amplio y rico que el del monitor [Rec.709]. Por lo tanto, este proceso supone una pérdida destructiva de la calidad del material original.

Para evitar esta pérdida de calidad se utiliza el procedimiento *Scene Referred*. La idea es trabajar la postproducción y la corrección de color en un espacio de color de intermediación que sea lo más amplio posible. Típicamente en ACES, que fue creado precisamente para esto. Pero podría igualmente ser otro espacio de color y función de transferencia amplia como [DaVinci Wide Gamut Intermediate].

Por lo tanto, haremos una transferencia de [Arri LogC] a [ACES CCt]. De esta forma se consigue preservar para la postproducción y la corrección de color toda la información de brillo y color que la cámara fue capaz de captar. Para ver la imagen correctamente en un monitor [Rec.709] se aplicará la función de transferencia correspondiente pero que solo afecte a la salida a monitor. Las herramientas de corrección de color seguirán funcionando en [ACES CCt] que respeta la calidad del material original. Esta forma de trabajar resulta más interesante: el visionado está normalizado pero el procesamiento de la señal se hace en la máxima calidad posible.

El flujo de trabajo *Display referred* será adecuado cuando el máster final lo tenemos que entregar en [Rec-709] y no se prevén explotaciones futuras en calidades superiores. Es el caso de las producciones de televisión, es decir contenidos televisivos que no se prevé explotar en el futuro (por ejemplo, informativos o deportes). Pero no será conveniente en los escenarios ‘multi-deliveries’ cuando tenemos que entregar varios másteres para cine [DCI-P3] o televisión [Dolby PQ], [Rec.709], ... como es el caso de las producciones cinematográficas o las series de ficción. En estos casos el sistema de gestión de color *Scene Referred* no solo proporcionará un espacio de trabajo intermedio que preserve la calidad original, sino que además ayudará a mantener las correcciones de color a través de los distintos *deliveries* como [Rec.709], [DCI P3] o sistemas de HDR, más adelante hablaremos de ello.

Otra ventaja de *Scene Referred* con respecto a *Display Referred* es la coherencia en el color de las imágenes a lo largo de las distintas etapas del flujo de trabajo. Un sistema de gestión de color utilizado con consistencia en todas las fases de la producción ayudará a que la imagen que se ve a pie de cámara tenga un aspecto idéntico que la que se encontrará el montador en su sistema Avid, los de VFX en sus herramientas o el colorista en DaVinci Resolve.

ACES. Un sistema estándar de gestión de color

Para iniciar el estudio de ACES leamos en primer lugar las definiciones que se encuentran en la web [ACES central](#) que es página oficial de esta norma técnica.

¿Qué es ACES?

- El Academy Color Encoding System (ACES) es un estándar mundial para el intercambio de archivos de imagen digital, la gestión de flujos de trabajo en color y la creación de másteres para su entrega y archivo.
- Es una combinación de normas SMPTE, buenas prácticas y una sofisticada ciencia del color desarrollada por cientos de cineastas profesionales y

científicos del color bajo los auspicios del Comité de Ciencia y Tecnología de la Academia (de Hollywood) de las Artes y las Ciencias Cinematográficas.

- ACES puede utilizarse en cualquier tipo de producción, desde largometrajes hasta televisión, anuncios, AR/VR y mucho más.

¿Por qué utilizar ACES?

- ACES estandariza y simplifica la gestión del color manteniendo la fidelidad del color de su producción al más alto nivel a lo largo de la producción, postproducción y archivo.
- Simplifica el igualado de distintas cámaras; mejora el flujo de trabajo de color y la comunicación entre los distintos departamentos de la postproducción; añade fiabilidad a la monitorización del color; simplifica los procesos de exportación con los estándares actuales y futuros; y ayuda a crear los materiales para el archivo a largo plazo.
- Y lo que es más importante, ACES es gratuito y de código abierto, por lo que docenas de empresas lo han integrado en sus herramientas e innovan continuamente en este marco de trabajo de estandarización.

Fuente: acescentral.com

Rescatando aspectos importantes de estas definiciones diremos ACES es un sistema de gestión de color *Scene Referred* reconocido por la agencia de normalización técnica SMPTE. Es una iniciativa promovida por la industria de producción de cine de Estados Unidos para disponer de un sistema de gestión de color interoperable y exento de patentes o royalties. Es un proyecto complementario con DCI (*Digital Cinema Initiatives*), el consorcio que se creó en 2002 para elaborar el estándar de proyección de cine digital en salas que se usa en todo el mundo.

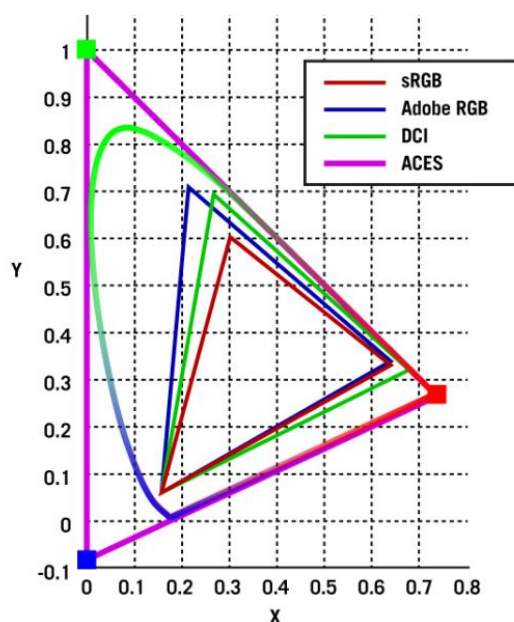
Al ser un desarrollo de código abierto y gratuito, a los desarrolladores de software de edición y postproducción no les cuesta dinero implementar ACES en su sistema. También colaboran con sus especificaciones los fabricantes de cámaras de cine y se podrán ir incorporando las distintas normas técnicas que vayan apareciendo en el futuro para los equipos de electrónica de consumo.

De cara al archivo para la preservación del material para explotaciones futuras será más interesante estar vinculado con ACES que con otro sistema de gestión de color que pertenezca a una empresa privada. Porque las empresas pueden desaparecer o quedar desfasadas. Las normas técnicas (*standards* en inglés) son más fiables para el largo plazo.

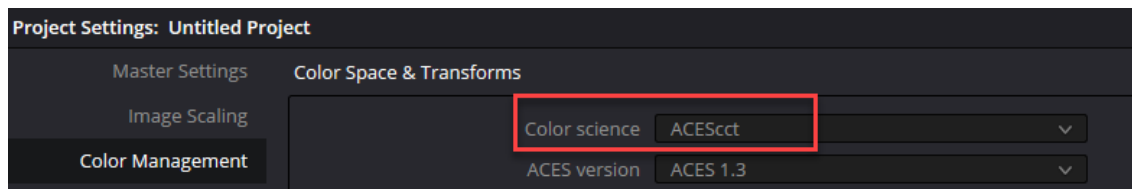
Piezas fundamentales de ACES

En el momento en que activamos la gestión de color ACES en el sistema de edición o corrección de color que estemos utilizando se va a poner a trabajar con unas primarias (Gamut de color) lo suficientemente amplias como para englobar todos los espacios de color de las cámaras y de los sistemas de difusión. De esta forma se preserva toda la calidad de los materiales brutos de cámara y se cubren ampliamente los requisitos de exportación.

En el siguiente gráfico se puede observar que las primarias de ACES ofrecen un Gamut de color más amplio que los demás espacios de color.



El gamut de color de ACES es más amplio y por tanto puede asegurar las transformaciones de espacios de color sin pérdidas.

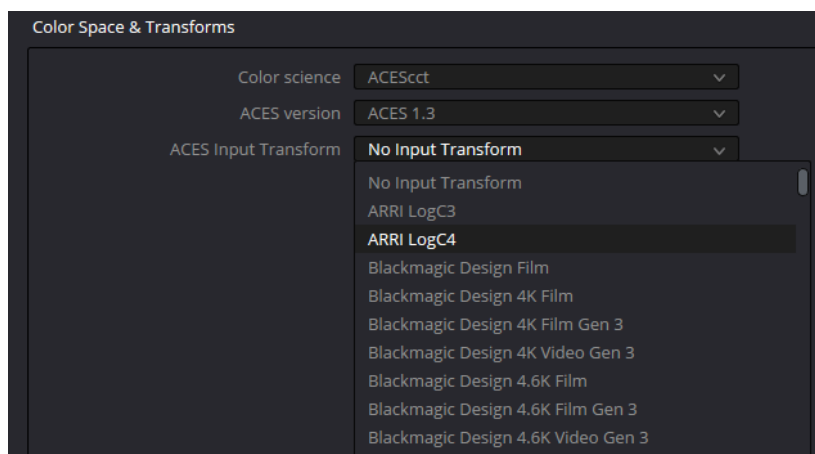


Selección en DaVinci Resolve del espacio de color [ACES CCT] en la pestaña 'Color management' de los 'settings' de proyecto.

A continuación, vamos a repasar las piezas fundamentales del ecosistema de ACES.

IDT. Input Device transform

Las IDT son las funciones de transferencia que utilizamos para pasar a ACES los archivos brutos de cámara o fuentes. Tendremos que aplicar a cada clip del proyecto la IDT que corresponda. Por ejemplo, si los planos se han grabado con una cámara Alexa 35 [Arri LogC4] tendremos que aplicarles la IDT correspondiente para convertir el material a [ACES CCT].



Selección en DaVinci Resolve de la IDT por defecto para un proyecto. [Arri LogC4] es la IDT que corresponde a la cámara Alexa 35. En esta lista están las IDT de todos los fabricantes de cámaras profesionales.

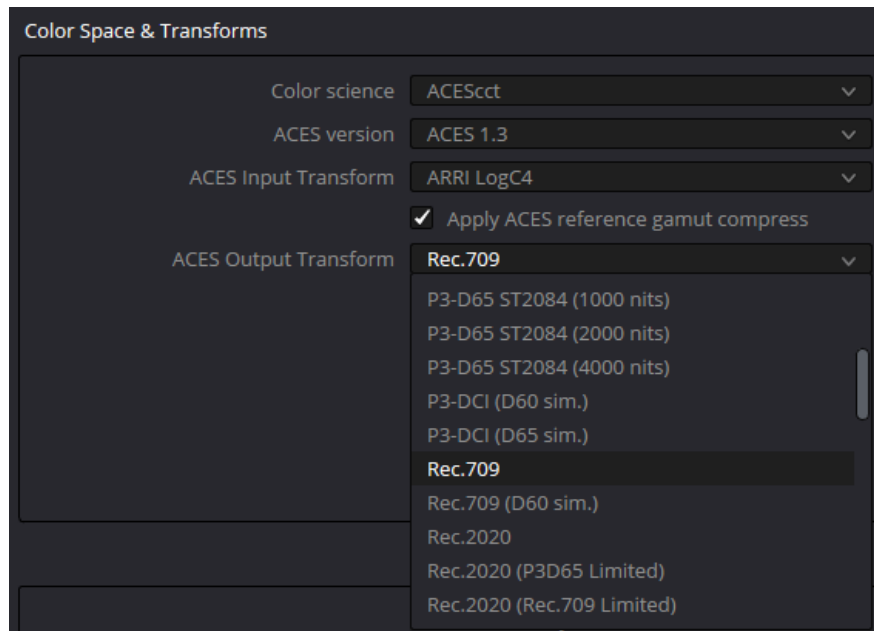
Las IDT las proporcionan al sistema los propios fabricantes de cámaras. El colorista se ocupa de aplicar la que corresponda a cada plano. El sistema de gestión de color es también capaz de aplicar las IDT de forma automática cuando esa información está en los metadatos del material. Para la mayoría de los archivos Raw de las cámaras de cinematografía DaVinci Resolve será capaz de identificar de forma automática la IDT correspondiente.

OT. *Output transform* (ODT y RRT)

Las OT *Output Transform* son las funciones de transferencia que utilizamos para pasar de ACES a los distintos espacios de color de exportación. Son dos funciones de transferencia: la RRT y la ODT:

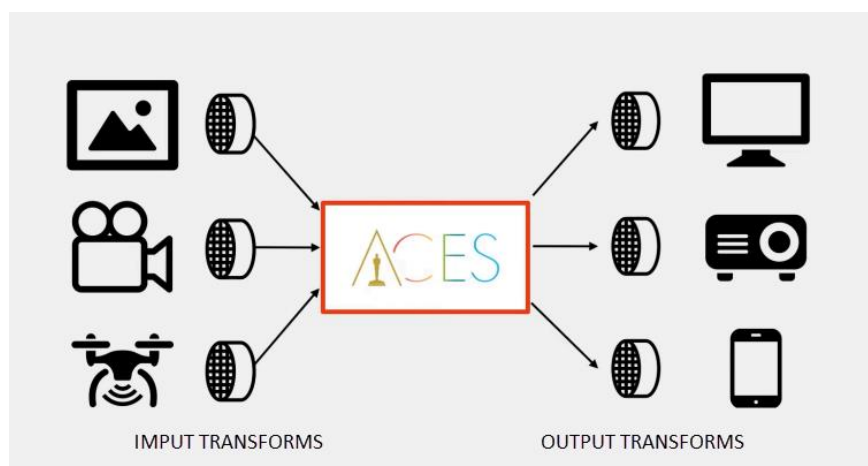
- RRT son las siglas de *Reference Rendering Transform*
- ODT son las siglas de *Output Device Transform*.

En su conjunto la RRT y ODT se denominan OT. *Output transform*



Identificación en DaVinci Resolve de la OT por defecto para un proyecto. En la imagen se ha seleccionado [Rec.709] pero la lista que es muy larga y se pueden encontrar todos los espacios de color para masterización de cine, TV SDR, TV HDR etc.

En este ejemplo se ha seleccionado la IDT de Arri Alexa 35 y la OT [Rec.709]. A partir de este momento DaVinci Resolve nos presentará las imágenes de la Alexa normalizadas en nuestro monitor. Ya no tendrán el aspecto de imagen “lavada”. Pero todos los procesos que hagamos con las herramientas de color se procesarán en el espacio de color ‘gigante’ de [ACES CCt AP1] respetando toda la calidad y el rango dinámico que captó la cámara.



Esquema del flujo de trabajo de ACES con las IDT y OT. Fuente Netflix

La gran ventaja de la gestión de color es que una vez que tenemos las correcciones de color hechas en ACES simplemente con cambiar la OT se puede obtener un máster para otros *deliveries* como [DCI-P3] para cine, [Rec.2020] para UHD o [Dolby PQ] para HDR, manteniendo todas las correcciones de color, VFX, grafismos, etc.

Conviene recordar que normalmente es conveniente empezar la corrección de color con la OT de mayor rango dinámico. Una vez que tengamos etalonado el proyecto en HDR, será más sencillo hacer pequeñas adaptaciones para un estándar inferior como puede ser [Rec.709] para televisión SDR. Aunque dependiendo del proyecto en particular este orden puede cambiar.

En el caso de las exportaciones para archivo lo que se hace es exportar el proyecto ACES sin ninguna OT. De esta forma preservamos el proyecto ACES para poder generar un máster con la OT de los estándares nuevos que puedan surgir en el futuro. Serán los NAM y GAM de los que hablaremos después.

LMT. Look Modification Transform

La función principal de la LMT es la creación y sobre todo el transporte dentro del ecosistema ACES de *Looks*. Por ejemplo, si aplicamos un IDT de Arri Alexa y una OT de [Rec.709] para la visualización, el resultado es técnicamente correcto. Se ha normalizado la señal, pero no tiene ningún *Look*. Si el colorista, o el director de fotografía asistido por el colorista, quiere generar un *Look* específico, lo harán mediante una LMT.

Es una herramienta para llevar un *Look* desde postproducción al set de rodaje. En la etapa de preproducción se crea el *look* en un sistema de color como DaVinci Resolve, por ejemplo, y se exporta en formato LMT (a veces son archivos .cube, otras veces archivos .ctl, esto puede cambiar). Ese archivo se entrega al equipo de cámara y al DIT que se ocuparán de que quede cargado tanto para la monitorización en el set como en la generación de *Dailies* y materiales para montaje (*Editorial*). A los distintos departamentos de la postproducción también se les proporciona la LMT. De esta forma todo el mundo ve la imagen igual.

A veces a la LMT se la nombra como la '*Show Lut*' porque es un *look* que se aplica a toda la película o serie.

En una producción puede haber una o varias LMTs. Por ejemplo, el director de fotografía con su colorista puede preparar cuatro: exterior-día, exterior-noche, interior-día, e interior-noche. O bien una específica por grupo de secuencias que tienen una personalidad visual en la narrativa.

En algunas ocasiones también se utilizan la LMT para solucionar algún problema técnico como fue el caso en 2020 con unos artefactos que generaban los neones azules⁴.

CDL. Color Desicion List

Las CDL pueden servir para muchas cosas, pero la forma más habitual de emplearlas en los flujos de trabajo profesionales es para llevar correcciones de color desde el set hasta la postproducción final.

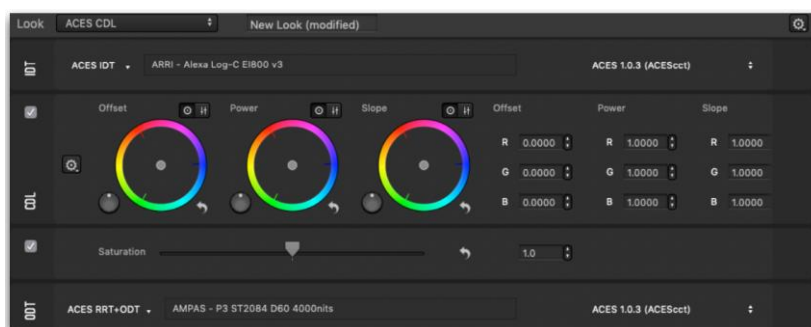
Las CDL son dinámicas, es decir que se editan para cada plano. Son las correcciones de color que hace el DIT bajo la tutela del director de fotografía durante el rodaje.

Igual que el caso de las LMT, las CDL tienen que viajar junto con el material por todos los pasos intermedios: DIT, laboratorio, etc. Tienen que estar aplicadas en los *Dailies* y en el material que

⁴ <https://acescentral.com/knowledge-base-2/crushed-colors-caused-by-brightly-colored-lights/>

llega a montaje. Por supuesto también se tienen que enviar a todos los departamentos de postproducción y color.

Cuando las CDL llegan a la fase final de color es habitual que el colorista entienda la intención que tenían y luego las reconstruya. Porque las herramientas con las que se hacen las CDL son más limitadas. Generalmente en set se usa el programa [Livegrade](#), en donde se puede intervenir tan solo en diez valores de la imagen: Offset, Power y Slope para los canales independientes de rojo, verde y azul y un control global de saturación.



Interfaz de Livegrade para hacer CDL en el set

De esta manera una estructura completa de ACES, en flujo de trabajo de Netflix por ejemplo, sería: IDT, CDL, LMT y OT (RRT + ODT). Y el orden siempre tiene que ser el mismo para que el color siempre sea el mismo en cada paso o departamento de la postproducción. El plano queda definido por la suma de estos cuatro elementos.



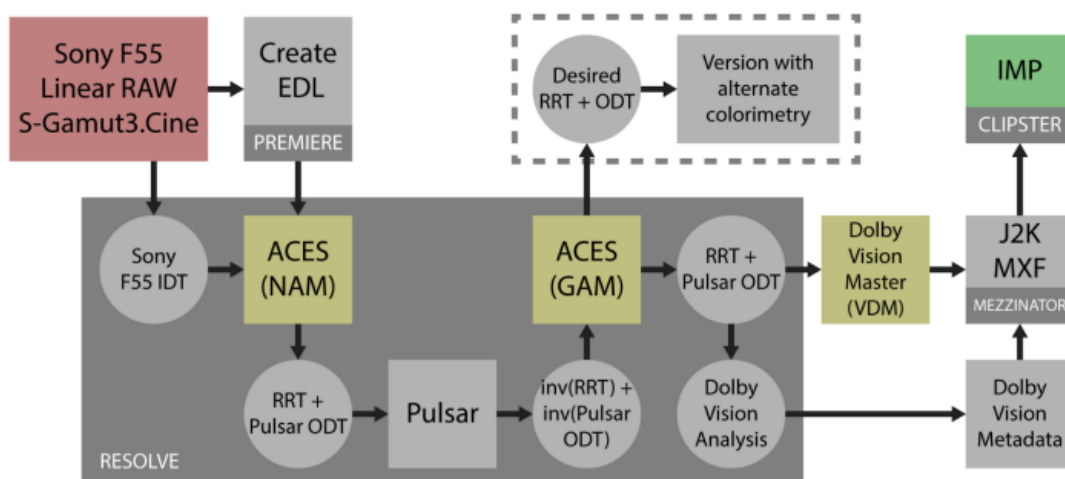
Flujo de trabajo de Archivo. NAM y GAM

Aunque podría haber muchas formas de pensar los materiales necesarios para archivo de una producción para garantizar su preservación a largo plazo, en la actualidad, es habitual utilizar los términos que ha propuesto la plataforma Netflix y que utilizan la mayoría de las plataformas.

- **NAM (Non grade Archival Master)** es un master de archivo sin la corrección de color. Esto sería parecido a guardar los brutos tal y como quedaron finalmente montados. No todos los brutos de cámara, sino únicamente los que se han utilizado. La diferencia con los brutos de cámara es que en un NAM se han unificado las distintas fuentes y cámaras a ACES, lo que hará mucho más sencillo su tratamiento en el futuro.
- **GAM (Graded Archival Master)** es un master de archivo con las correcciones de color. El GAM lleva las correcciones de color, pero no viene referido a un espacio de color concreto como los másteres de explotación. No es un [Rec-709] para televisión o [DCI-P3] para cine. Está trabajado en un sistema de color mucho más amplio como es ACES

que nos va a permitir precisamente que esto sea un archivo y no un simplemente un máster.

A continuación, se muestra un gráfico de Netflix en el que se puede observar el lugar que ocupan el NAM y el GAM dentro en el flujo de trabajo.



Esquema de flujo de trabajo de Netflix donde se sitúan el NAM y el GAM. Fuente Netflix

En este caso el espacio de color y OETF de la cámara Sony F55 es el [S-Gamut3.Cine]; la corrección de color se hace en [ACES CCT] y el máster de explotación es un HDR [Dolby PQ].

Podemos observar en el flujo de trabajo que se realizan sucesivas transformaciones de espacios de color.

- El material de cámara que está codificado con el Raw de Sony [S-Gamut3.Cine] se transforma mediante una IDT a [ACES CCT] para hacer la corrección de color.
- Una vez terminada la corrección de color se transforma mediante una OT (RRT+ODT) al espacio de color del máster de explotación. En este caso un HDR [Dolby PQ].
- La exportación NAM se hace antes de las correcciones de color
- Y la exportación GAM después de la corrección de color

Espacios de color ACES y funciones de transferencia

Aunque de forma filosófica inicialmente definimos ACES como un gran corazón en el cual se ejecutan las operaciones de color y *Visual effects* dentro de la postproducción, realmente en la práctica ACES se divide en varios espacios de color o Gamuts y varias funciones de transferencia.

Cuando en un sistema de corrección de color o de postproducción activamos ACES, el sistema tiene que aplicar un espacio de color y función de transferencia. En otras palabras, un Gamut de color y una curva. A partir de ese momento las operaciones matemáticas que se producen internamente mientras se opera en el sistema aplican esa función de transferencia que se ha seleccionado.

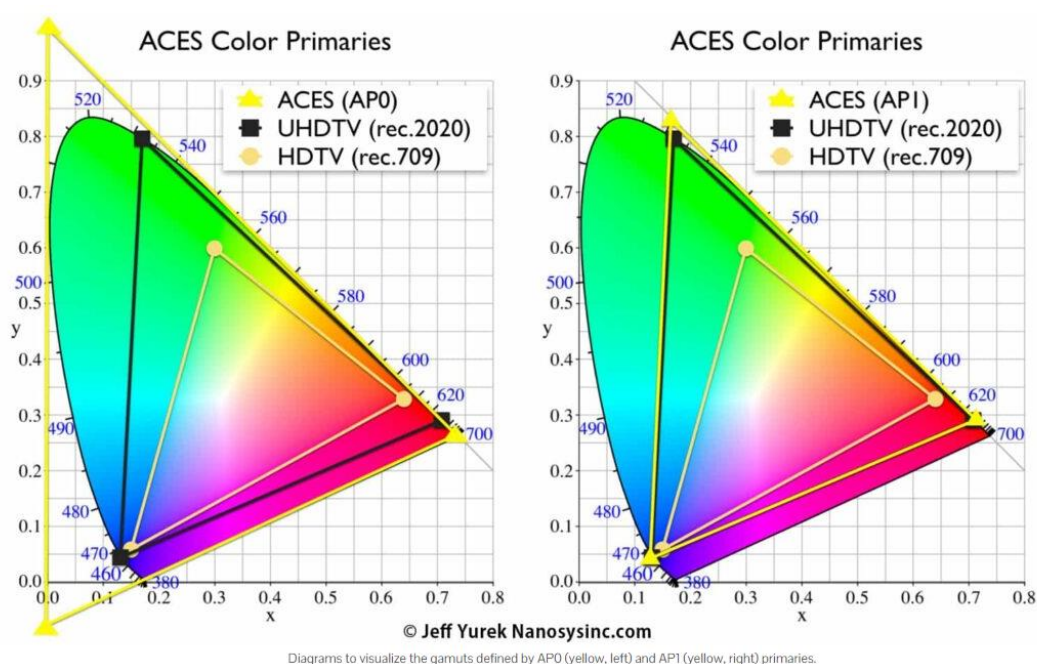
De forma natural, la mayoría de los programas profesionales de composición o de creación 3D (CGI) están programados y optimizados para trabajar con una función de transferencia lineal. Así la matemática de las operaciones que llevan a cabo en sus transformaciones (por ejemplo, un desenfoque) es más simple.

Sin embargo, en captación y corrección de color lo habitual es trabajar con curvas logarítmicas. Las herramientas de corrección de color están diseñadas para trabajar con este tipo de funciones de transferencia que son más cercanas a cómo funciona la luz y a la percepción de la luz. Por eso ACES diseñó [ACES CCT] para los programas de corrección de color con una función de transferencia logarítmica.

Vamos a ver en detalle los dos Gamuts y las dos funciones de transferencia que se usan habitualmente:

Gamuts:

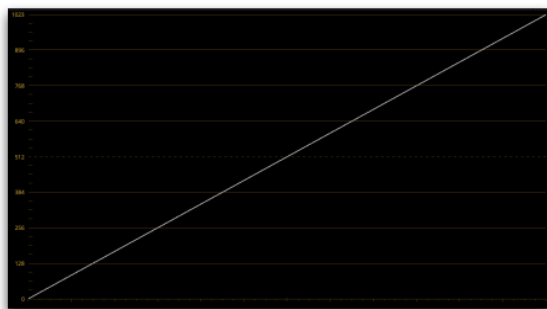
- [AP0] lo vamos a utilizar para intercambio y para archivo. Cubre sobradamente la totalidad del triángulo CIE.
- [AP1] es muy parecido al Gamut [Rec.2020], de hecho, al AP1 se le llama [Rec.2020+]. Lo vamos a utilizar fundamentalmente cuando trabajemos en corrección de color y *Visual Effects*.



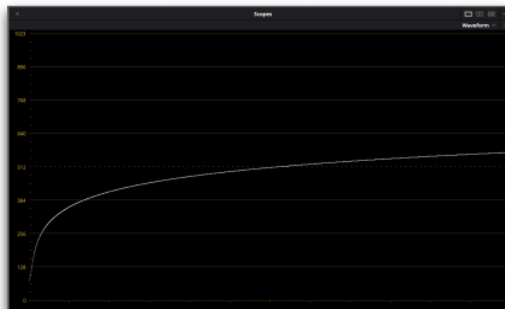
Gamuts definidos por las primarias de ACES [AP0] y [AP1]

Funciones de transferencia:

- [ACES CCT] tiene una función de transferencia logarítmica empleada fundamentalmente en corrección de color (de ahí el CC).
- [ACES linear Light] que se emplea para archivo, intercambio y para *Visual Effects*.



Linear Light: Archivo, intercambio, VFX



ACES CCT: Corrección de color

Funciones de transferencia ACES: Lineal y Log. CCT

Con la combinatoria de estos gamuts y funciones de transferencia tenemos en la práctica tres ‘sabores’ de ACES empleados comúnmente.

	Primarias	Curva	Uso
[ACES CCT]	AP1	Log	Se usa en corrección de color, por ejemplo, cuando se abre ACES en DaVinci Resolve. La curva Log de CCT es muy similar a la Cineon. También se admite el trabajo en el log original de la cámara.
[ACES CG]	AP1	lineal	Se usa en <i>Visual Effects</i> . También se admite el intercambio en el log original de cámara.
[ACES 2065-1]	AP0	lineal	Se utiliza para intercambio de material con <i>Visual Effects</i> y para archivo (para hacer el NAM y el GAM).

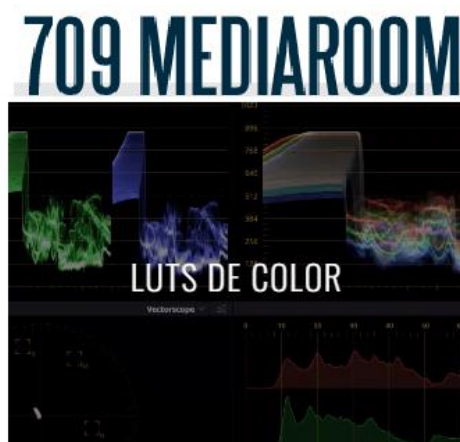
Un ejemplo sencillo de la utilización de estos sabores de ACES sería:

- Utilizamos [ACES CG] para hacer una composición en NUKE
- Convertimos de [ACES CG] a [ACES 2065-1] para pasar los archivos a corrección de color
- Y en corrección de color usamos [ACES CCT]

ACES tiene más perfiles, pero estos que hemos comentado son las más habituales. DaVinci Resolve también da la opción de elegir [ACES CC] que es un perfil muy similar a [ACES CCT] pero que genera algunas dificultades en bajos niveles de negros y por lo tanto no es recomendable.

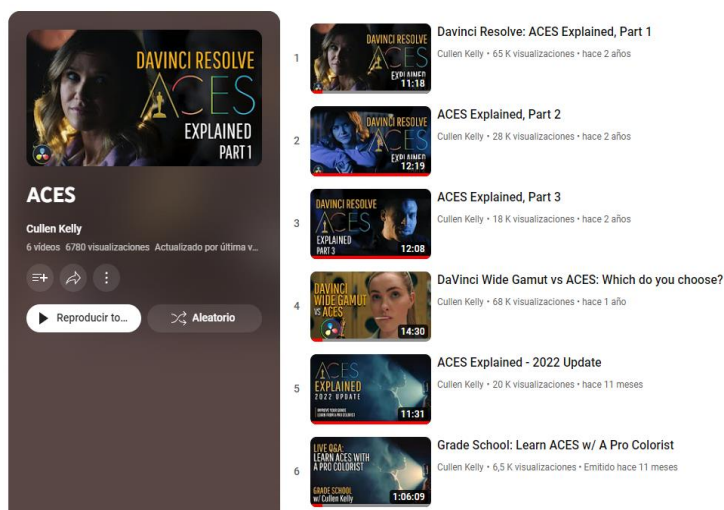
Referencias sobre Gestión de color y ACES

En la zona de descargas del portal [709 MediaRoom](#) se pueden acceder a una librería de Lut de color. Es necesario disponer de una cuenta de usuario gratuita.



Luts de color en la zona de descargas gratuitas de 709 MediaRoom

Cullen Kelly, colorista y formador, también tiene una serie de videos en Youtube muy didácticos dedicados a esta cuestión. [En este vínculo está la lista de reproducción.](#)



Serie de videos de Cullen Kelly sobre Gestión de color y ACES

Como documentos de referencia para ampliar la información sobre gestión de color y ACES recomendamos en primer lugar consultar el portal de Netflix Partner Help Center donde hay varios documentos de interés sobre esta materia:

Gestión de color	What is Color Management?
	Las ventajas de la gestión del color (video en Youtube)

ACES	<u>Color Managed Workflow in Resolve: ACES</u>
Archivo	<u>Non-Graded Archival Master (NAM): Best Practices</u>

Formatos y códecs

Una de las cuestiones que comúnmente se plantean en el ámbito audiovisual es si son necesarios códecs específicos para trabajar en 4K o HDR.

A decir verdad, la respuesta es abierta ya que, aunque muchos parámetros de la codificación son independientes de la resolución espacial o del rango dinámico, otros como la profundidad de bit sí son necesarios a la hora de una codificación en HDR.

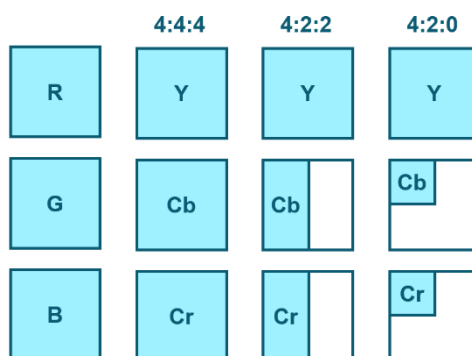
El término códec, abreviatura de ‘codificador’ y ‘descodificador’, es una especificación que se ocupa de la conversión de una señal de vídeo o audio en datos digitales. La información resultante se guarda en un ‘formato’ y se utilizará para la difusión o almacenamiento de esa señal. El dispositivo receptor deberá conocer el códec para poder descodificarlo y presentar las imágenes o los sonidos.

En esta sección vamos a repasar en primer lugar unas cuestiones básicas de la codificación de vídeo, como el [submuestreo de color](#), la [compresión](#) y el [flujo de transferencia](#), conceptos todos ellos imprescindibles para hacer una aproximación a los formatos y códecs 4K HDR. A continuación, se presentan las diferencias entre los [archivos Raw y los de imagen procesada](#) y se definen los [formatos contenedores](#). Por último, se propone una clasificación de los formatos y [códecs](#) más utilizados en los entornos profesionales de producción y difusión. Es una clasificación más bien teórica y con finalidad docente, puesto que, en la práctica, las opciones de exportación que ofrecen los sistemas de captación y postproducción son una lista infinita de variables que se combinan de todas las formas posibles. Cuando se trabaja con los estándares de alta calidad de producción profesional, la lista de formatos válidos es más reducida. Hemos elaborado una [tabla](#) con las características técnicas de los formatos más habituales en la profesión que se puede descargar en [709MediaRoom](#), en la sección ‘descargas gratuitas’. Es necesario tener una cuenta de usuario para acceder a esta sección.

Submuestreo de color

El **submuestreo de color** (*Chroma Subsampling*) es un tratamiento de la señal de vídeo consistente en reducir el número de píxeles que se codifican de las componentes de color. El objetivo que persigue es **reducir la cantidad de información en el proceso de codificación**. Esta estrategia aprovecha que la visión humana es más sensible al brillo que al color. Así, se conserva toda la resolución de la imagen en blanco y negro (brillo) y se elimina información de color, manteniendo la sensación de calidad.

En una señal 4:4:4 ‘Y, Cb, Cr’ no hay submuestreo de color y, por lo tanto, se trata de una señal por componentes equivalente en calidad a RGB. El submuestreo 4:2:2 reduce a la mitad la resolución espacial de las componentes de color (Cb y Cr), preservando la señal de luminancia (Y). El 4:2:0 reduce la resolución del color a una cuarta parte.



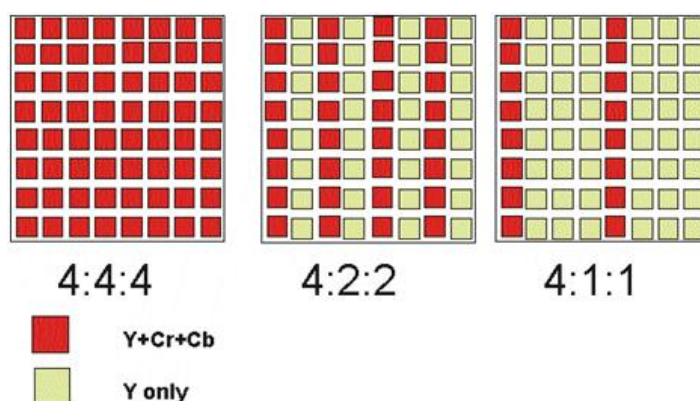
Submuestreo de color 4:4:4, 4:2:2 y 4:2:0.

En flujos de trabajo de alta calidad y para la postproducción, lo mejor es trabajar en 4:4:4, es decir, sin submuestreo de color. En algunos contextos profesionales se utiliza el submuestreo 4:2:2, también conocido como ‘calidad de estudio’ o ‘calidad *broadcast*’. Para el vídeo doméstico, semi-profesional (*prosumer*) y para la difusión, lo habitual es utilizar submuestreo 4:2:0.

El submuestreo de color también entra en juego en 4K. Una señal con submuestreo 4:2:0, por mucho que sea 4K, no tendrá los mismos niveles de calidad que con 4:2:2 o 4:4:4. Estará por debajo de los estándares profesionales de la producción de cine o televisión. Los requisitos de almacenamiento y transmisión serán muy inferiores, pero también la calidad de la imagen resultante.

Sin embargo, con las imágenes de alta calidad, es decir, de 4K con 10 bits de profundidad de color, en 4:4:4, el tamaño de los archivos es gigantesco y el simple proceso de descargar el material a un disco duro o realizar una copia puede resultar una ardua tarea que demande mucho tiempo. Un minuto de material puede ocupar 1,27 GB. Será necesario por lo tanto prestar atención a la capacidad de transferencia de las distintas conexiones y cableados, así como a la velocidad de lectura y escritura de los discos duros que se estén utilizando.

Los sistemas de codificación tienen que encontrar un equilibrio entre la calidad de la imagen y el tamaño del archivo que se genera. Dependiendo del segmento de mercado a los que se dirijan los equipos (profesional o doméstico) se aplicarán distintas estrategias tecnológicas.



En una señal 4:4:4 todos los píxeles llevan información de color. Fuente: Alanxelsys.

Compresión

La compresión implica una determinada forma de codificar la información que posteriormente tendrá que ser decodificada por el equipo de recepción. Cuando se codifica con una compresión con pérdidas (*lossy*) se elimina parte de la información que tendrá que ser reconstruida por el receptor.

Se diferencian dos tipos de compresión:

- La compresión espacial: es la que elimina la redundancia en el interior del espacio de una imagen (compresión intracuadro).
- La compresión temporal: opera sobre el flujo redundante temporal de un grupo de fotogramas (compresión intercuadro).

La compresión espacial trabaja únicamente con un fotograma (*frame*) basándose en la redundancia o la similitud de los píxeles vecinos en la imagen, llamados bloques o macrobloques, por ello se denomina también compresión intracuadro (*intraframe*) y se utiliza en los entornos de producción. Un ejemplo muy conocido de compresión espacial es JPG, que se utiliza de forma muy generalizada en fotografía, vídeo y cine digital. Los códecs de vídeo DV, JPEG 2000 o los de la familia ProRes, entre otros muchos, utilizan la compresión intracuadro.

La compresión temporal compara la información de cuadros sucesivos para encontrar similitudes que se puedan expresar de forma más eficiente. Se denomina intercuadro (*interframe*) precisamente porque opera en una secuencia de imágenes en movimiento.

La compresión temporal funciona con paquetes de *frames GOP (Group Of Pictures)* que se codifican conjuntamente. Solo se guarda la información no redundante con respecto al primer fotograma del grupo que se establece como referencia.

Este tipo de compresión se utiliza habitualmente en difusión y es muy eficiente para la transmisión de vídeo, pero problemática para la edición puesto que no existe una descripción completa de cada uno de los cuadros que componen la secuencia. Los ejemplos más conocidos de compresión temporal son MPEG, MPEG4 (H264) y HEVC (H265).

Flujo de transferencia y ancho de banda

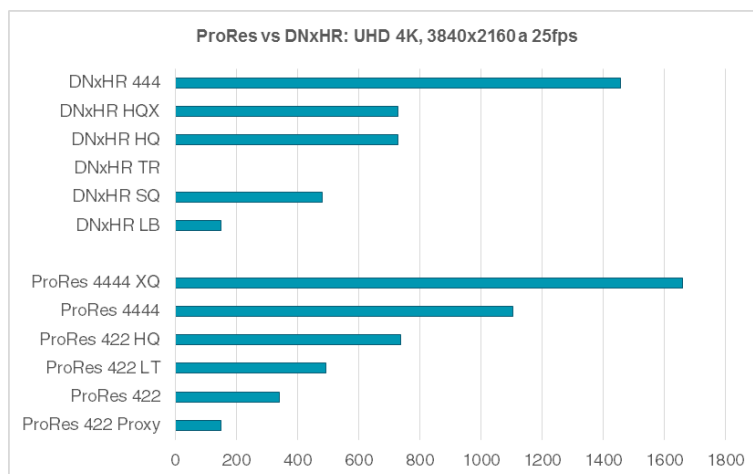
El flujo de transferencia binaria o tasa de transferencia (*bit rate*) indica el número de bits que se transmiten por segundo. Se puede expresar en bits por segundo (*bits per second; bit/s*) o en Bytes por segundo (B/s). Un bit es la unidad mínima de información digital. Un Byte son ocho bits. Se suele utilizar la unidad bit cuando la transmisión se produce en serie, es decir, en fila uno detrás de otro, y Bytes cuando la transmisión se hace con ocho bits en paralelo.

Cuanto mayor sea la resolución espacial, la profundidad de color y la resolución temporal, mayor será la cantidad de información (bits) a transmitir para poder reproducir el vídeo en tiempo real. Es decir, cuanta más calidad tenga el formato de vídeo, mayor será el flujo de transferencia que genera.

En radiodifusión se emplea el término análogo, ‘ancho de banda’, para referirse al espacio radioeléctrico necesario para transmitir la señal.

Con el fin de reducir el flujo de transferencia de las señales, y por lo tanto el ancho de banda para la transmisión, se utilizan el submuestreo de color y los sistemas de compresión.

Todos estos valores quedan reflejados en el formato de archivo y el códec que se utilice. A modo de ejemplo, en la siguiente figura se pueden ver las tasas de transferencia en Mbit/s que generan los distintos códecs ProRes y DNxHR para una resolución de 3.840 x 2.160 a 25 fps.



Flujo de transferencia en Mbit/s generado por los archivos 4K, 3.840 x 2.160 a 25 fps en los distintos niveles de calidad que ofrecen los códecs ProRes y DNxHR. Fuente: 709 MediaRoom a partir de los datos de ProRes White Paper (2017, pág. 22) y Avid® High-Resolution Workflows Guide (2016, pág. 111).

Una de las mayores complicaciones del 4K está en el tamaño de los archivos y el flujo de transferencia que genera su reproducción. Anecdóticamente podemos señalar que un disco duro externo conectado por USB 2.0 encuentra su límite de capacidad en los 280 Mbit/s. Solo es capaz de reproducir un vídeo 4K con los códecs más bajos de ProRes o DNxHR, los que se utilizan para edición *offline*: ProRes Proxy y DNxHR LB. Los códecs más altos requieren un equipo con mucha capacidad, discos duros muy rápidos y el conexionado adecuado para soportar esas tasas de transferencia.

Las cámaras ligeras 4K de la electrónica de consumo utilizan todos los recursos posibles para reducir el flujo de transferencia: profundidad de color a 8 bits, submuestreo de color 4:2:0 y agresivas técnicas de compresión con pérdidas que afectan gravemente a la calidad de las imágenes. De esta forma se consigue que el material se pueda almacenar en tarjetas SD de bajo costo que no soportarían flujos de transferencia superiores.

También en el ámbito profesional se intentan optimizar las tasas de transferencia. Se trabaja con códecs de alta calidad, pero con una ligera compresión, como DNxHR o XAVC de Sony, porque si no, el volumen de datos sería inabarcable.

Archivos 'raw' y archivos de imagen procesada

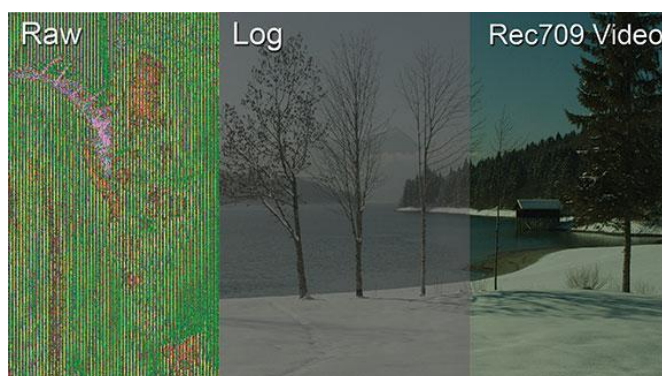
Los archivos *raw* contienen toda la información en bruto que ha captado el sensor de la cámara. No se pueden ver de forma inmediata porque les falta el procesado de la imagen. A esta operación de procesado de la imagen en postproducción se le llama revelado *raw*.

Continuando con la analogía con el fotoquímico, se puede decir que el fichero *raw* contiene una ‘imagen latente’ y cuando no se graba en *raw* se dice que se graban ‘imágenes procesadas’.

Cada fabricante de cámaras de cine digital tiene su propio formato *raw*: ArriRaw, SonyRaw⁵, CanonRaw, RedCodeRaw, BlackmagicRaw, ProResRaw, Cinema DNG, etc. Y no todos funcionan igual. Cada uno de estos formatos permite, en mayor o menor medida, modificar en postproducción parámetros básicos, como la ganancia (ISO), la curva de gamma, el gamut o el balance de blancos.

Los archivos de imagen procesada, a diferencia de los formatos *raw*, tienen estos parámetros definidos directamente desde la cámara y no se pueden modificar. Para modificar el contraste o el equilibrio de color será necesario hacer una nueva codificación, es decir, generar un nuevo archivo de media (clip o *media file*).

La diferencia fundamental es que los cambios que se realizan en *raw* son a nivel de metadatos. Con los códecs de imagen procesada estos parámetros vienen ya definidos desde la cámara y consolidados en la imagen.



Tres fases de procesado de una imagen: raw, procesada con curva de gamma logarítmica y procesada con curva de gamma Rec.709. Fuente: Abeltine.

Formatos contenedores

Un archivo audiovisual puede tener varios audios, varios vídeos y una cantidad variable de metadatos. Todo este conjunto de componentes se compila en formatos contenedores (*container formats*).

Empaquetadas en el formato contenedor están las componentes de vídeo y audio. Cada una de estas componentes está codificada mediante un códec. Resumiendo, un archivo de vídeo tiene un formato contenedor y un códec, y dentro de un formato contenedor puede haber distintos códecs.

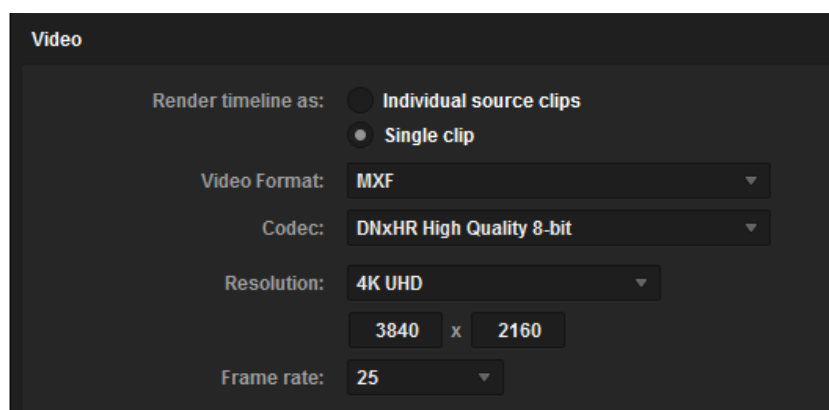
⁵ Desde la Venice 2 en adelante, Sony sólo permite trabajar en su formato de RAW con compresión denominado X-OCN, en sus distintas modalidades.



El formato contenedor encapsula en un solo archivo el vídeo, el audio y los metadatos.

Como ejemplos de formatos contenedores muy conocidos se pueden citar: AVI, que es el contenedor estándar de los equipos de Microsoft; MOV, el de los ordenadores de Apple, y MP4 que es el contenedor genérico que se utiliza para los archivos codificados en MPEG-4.

En entornos profesionales de producción se utiliza frecuentemente el formato contenedor MXF (*Material Exchange Format*); también se utiliza mucho MOV, por ejemplo, para entrega a cliente. MXF es el formato preferente para producción profesional por la potencia que ofrece en los metadatos y porque ofrece mayor estabilidad para postproducción.



Menú de exportación en DaVinci Resolve con desplegados para seleccionar el formato contenedor (MXF) y el códec (DNxHR).

Los archivos para la proyección de cine digital DCI también van encapsulados con formato MXF.

En difusión, sobre todo para *streaming*, se utiliza mucho MP4 como formato contenedor.

En radiodifusión televisiva no se utilizan formatos contenedores. Este concepto se transforma en formatos de flujo de transporte de la señal (*Transport Stream*). En todo el mundo está aceptado el uso del formato *Transport Stream* (TS) de MPEG.

Clasificación de los códecs

Existen muchos códecs para los archivos de vídeo 4K que ofrecen distintos niveles de calidad para la producción y difusión de televisión y cine digital. A efectos didácticos los podemos clasificar en cuatro grupos:

- Códecs nativos de cámara
- Códecs de intermediación o de postproducción
- Códecs de masterización y archivo
- Códecs de difusión

Pero estos grupos no son estancos, puesto que hay cámaras que ofrecen la posibilidad de grabar con códecs que pertenecerían tanto al apartado de postproducción (por ejemplo, Apple ProRes) como al de difusión (por ejemplo, H.264). Lo mismo ocurre con los sistemas de edición y postproducción que pueden trabajar con cualquier códec.

Códecs nativos de cámara

Cada fabricante de cámaras ofrece su propia gama de códecs disponibles para la grabación.

Las cámaras Arri pueden grabar en ArriRaw, o también en los códecs de imagen procesada Apple ProRes.

Sony tiene su propio formato *raw*, SonyRaw / X-OCN⁶. para las cámaras de cine digital y utiliza XAVC para el mercado profesional de la televisión, un formato de grabación específicamente desarrollado para 4K a 8/10/12 bits, con muestreo de color 4:4:4/4:2:2/4:2:0 y empaquetado en MXF. En la gama 4K de consumo utiliza Sony XAVC S que graba en 4:2:0 y con compresión H.264.

Las cámaras Red utilizan para *raw* un formato propio, el Redcode Raw y también permiten la grabación en Apple ProRes y Avid DNxHR.

La gama más alta de producto de Canon también tiene su códec *raw*, el CanonRaw. En equipos más económicos, como la cámara Canon EOS R5C, utilizan el códec Cinema RAW Light hasta 8K y a 12 bits en sus tres modalidades LT, SP y HQ.

Las cámaras de Blackmagic utilizan su propio códec *raw* (BRaw) y también permiten grabar en las distintas calidades de las familias Apple ProRes o Avid DNxHR.

Las cámaras que no están dirigidas al mercado profesional utilizan códecs con fuerte compresión H.264 y submuestreo de color 4:2:0. Aunque algunos fabricantes de electrónica de consumo como Apple o Blackmagic están introduciendo soluciones para trabajar con códecs de alta calidad en teléfonos móviles y cámaras domésticas.

Códecs de intermediación o de postproducción

⁶ https://pro.sony/es_ES/technology/recording-formats/technology-xocn

Los códecs de intermediación se emplean en postproducción de alta calidad para el montaje *online* y para la corrección de color. Tratan de mantener la calidad de las imágenes originales con una compresión mínima y procurando que el peso final de los archivos no sea muy alto.

También se emplean códecs de intermediación para el montaje *offline*, creación de *dailies* de visionado, etc. Normalmente estos van asociados a niveles mayores de compresión y menor peso de archivo.

Existen muchos códecs de intermediación, aunque los más utilizados son los ProRes de Apple y los DNxHR de Avid.



Avid DNxHR vs Apple ProRes. Fuente: @jesus_edits

Códecs de masterización y archivo

Una vez terminada la postproducción se utilizará un códec de máxima calidad para archivar el material. En este momento de la cadena de producción, el espacio que ocupe el fichero ya no es tan relevante, por lo tanto, se utilizarán códecs sin compresión o con compresión sin pérdidas, especialmente en cine digital. Es habitual utilizar secuencias de imágenes fijas, es decir, una imagen fija independiente para cada fotograma. La ventaja de este sistema es que si, por algún motivo, se corrompe un fichero, el resto de los fotogramas quedan intactos. Ofrece también cierta garantía de que el formato no quedará anticuado o descatalogado con el paso del tiempo. El inconveniente de estos formatos de archivo es que ocupan muchísimo espacio de almacenamiento.

Los formatos más utilizados son DPX, QuickTime (QT) sin compresión y MXF. El formato DPX es el más recomendable hoy en día porque MXF o QT demandan más capacidad de proceso a la máquina.

Algunos fabricantes que tienen intereses en el sector de los archivos audiovisuales han creado códecs de masterización y archivo con algo de compresión que encuentran un equilibrio entre la calidad y el espacio de almacenamiento necesario. Podemos destacar el XAVC de Sony, el AVC Ultra de Panasonic o el XF-AVC de Canon. Este tipo de códecs son más apropiados para los flujos de trabajo de televisión Ultra HD.



Actualmente, impulsado mayoritariamente por Netflix, la masterización se está haciendo en IMF *interoperable master format*. IMF es un formato de máster que emplea cápsulas MXF y ciertos códecs que permiten transportar la mínima media imprescindible y la máxima cantidad de metadatos para los distintos visionados.

Por ejemplo, si el colorista ha realizado dos etalonajes de un proyecto, uno para HDR y otro para SDR, en un máster IMF no tienen por qué viajar dos archivos de media sino tan sólo el archivo de media HDR y la metadata necesaria para la conversión automática a SDR.



En el portal de “Netflix Partner Help Center” se pueden consultar varios documentos de especificaciones de los IMF:

	<u>Interoperable Master Format (IMF) - Overview</u>
NETFLIX IMF	<u>IMF Glossary</u>
	<u>Creating an IMF Package in DaVinci Resolve</u> (vídeo en YouTube)

Códecs de difusión

El estándar de difusión del cine digital es el DCP (*Digital Cinema Package*) de DCI (*Digital Cinema Initiatives*). El DCP utiliza el códec JPEG 2000, que es una secuencia de fotogramas con compresión JPG que se encapsula en MXF. Tiene un sistema propio de encriptación para evitar usos ilegítimos de las copias de alta calidad que se proyectan en las salas.

El DCP es uno de los pocos ejemplos en los que el sistema de masterización y el de emisión coinciden. Es decir, el DCP que se masteriza en el laboratorio tiene exactamente la misma calidad y características que el que se proyecta en el cine, no hay transformaciones intermedias.



Disco DCP para la proyección de cine digital. Fuente: Redsmoke.

En el portal de “Netflix Partner Help Center” se pueden consultar dos documentos muy completos sobre buenas prácticas y especificaciones de los DCP:

NETLIX DCP

[Digital Cinema Package \(DCP\): Best Practices](#)

[Digital Cinema Package \(DCP\): Specifications & Requirements](#)

Para la difusión en televisión se utilizan códecs orientados a optimizar el ancho de banda de transmisión. Se utilizan los códecs MPEG2 o MPEG4 (H.264) para la televisión digital de resolución estándar y de alta definición. El nuevo salto en esta familia de códecs es el MPEG-H Vídeo, más conocido como HEVC (H.265), el códec que se está utilizando para la ultra alta definición. HEVC (H.265) contempla tanto los perfiles para difusión como los perfiles profesionales de producción y en los formatos de mayor calidad.

- Versión 1: perfiles de difusión en 4:2:0 con cuantificación de 8 y 10 bits.
- Versión 2: perfiles superiores en 4:2:2, 4:4:4 y por encima de 10 bits.

HEVC (H.265) es muy eficiente en la reducción de la tasa de transferencia, pero también es mucho más costoso a nivel de computación que H.264. Este es el motivo por el que H264 se utiliza todavía mucho.

Para la difusión de contenidos audiovisuales de alta calidad por internet existe la norma MPEG DASH (*Dynamic Adaptive Streaming over HTTP*) que recomienda para el *streaming* un encapsulado MPEG y determinados códecs, entre ellos HEVC (H.265).



Tabla de códecs de producción 4K

En la zona de descargas gratuitas del portal [709 MediaRoom](#), en la sección de artículos especializados, se puede descargar en formato pdf la tabla actualizada con los códecs más habituales para producción 4K. Incluye ejemplos de formatos y vínculos de referencia. Se ha actualizado incorporando los Prores Raw y los DNx uncompressed.

Para acceder a la zona de descargas de la [web de 709 MediaRoom](#) es necesario crear una cuenta de usuario.

NOMBRE	FABRICANTE	EJEM. CÁMARA / GRABADOR	SISTEMA DE COLOR	MUEST.	CUANT.	RES.	PAR	COMP.	BIT RATE (25 FPS)	SOPORTES COMUNES	MEDIA FORMAT	INFO
XAVC S	SONY	AX-100	COMPONENTES YUV	420	8b	HD 1080 P 4K P	SP	H264 GOP NC	HASTA 60 Mb/s	TARJETAS MEMORY STICK/SD	ARCHIVOS .mp4	WIKIPEDIA
XF AVC INTRA	CANON	C-300 MARK II	COMPONENTES YUV RGB	422 444	10 / 12b	HD 1080 P 4K / 2K P	SP	H264 NC	HASTA 410 Mb/s	TARJETAS CFAST	ARCHIVOS .MXF OP 1A	CANON
CANON EOS 1DC	CANON	EOS 1DC	COMPONENTES YUV	422	8b	4K P	SP	MOTION JPEG NC	500 Mb/s	TARJETAS CF	ARCHIVOS .MOV	CANON
AVC ULTRA 4K	PANASONIC	VARICAM 35	RGB	444	12b	4K P	SP	H264 NC	640 Mb/s	TARJETAS P2/MICRO P2	ARCHIVOS .MXF OP 1B	PANASONIC
XAVC 4K	SONY	PMW-F55	COMPONENTES YUV RGB	422 444	8 / 10 / 12b	4K / 2K P	SP	H264 VARIABLE	HASTA 960 Mb/s	TARJETAS SxS PRO/XQD	ARCHIVOS .MXF OP 1A	SONY
CANON RAW	CANON	C-500	RGB	RAW	10b	4K P	SP	NINGUNA 1:1	273 MB/s	GRABADOR EXTERNO	SEC. FOTOGRAMAS .RMP	ABELCINE
V-RAW	PANASONIC	VARICAM 35	RGB	RAW	12b	4K P	SP	NINGUNA 1:1	NC	GRABADOR EXTERNO	NC	CODEX
RED CODEC	RED DIGITAL	DRAGON	RGB	RAW	16b	8K - 2K P	SP	WAVELET 18:1 - 6:1	123 MB/s	SSD REDMAG	ARCHIVOS .R3D	WIKIPEDIA
ARRIRAW	ARRI	ALEXA	RGB	RAW	12b	6K - 2K P	SP	NINGUNA 1:1	276 MB/s (3.5K)	SSD CODEX XR	SEC. FOTOGRAMAS .ARI	ARRI
CINE RAW	VISION RESEARCH	PHANTOM FLEX4K	RGB	RAW	8 / 10 / 12 / 14b	4K / 2K P	SP	NINGUNA 1:1	12.8 GB/s (1000 FPS)	SSD CINEMAG	ARCHIVOS .CINE	VISION RESEARCH
SONY RAW	SONY	F65	RGB	RAW	12 / 16b	8K - 2K P	SP	WAVELET 6:1 - 3:1	245 MB/s	TARJETAS XQD	ARCHIVOS .MXF OP 1A	SONY
CINEFORM RAW	GOPRO	KINERAW S35	RGB	RAW	12b	3K / 2K	SP	WAVELET / NINGUNA 10:1 - 3.5:1 / 1:1	VARIABLE	VARIOS	ARCHIVOS .MOV	WIKIPEDIA
CINEMA DNG	ADOBE	BMCC	RGB	RAW	VARIABLE	VARIABLE	SP	WAVELET / NINGUNA VARIABLE	VARIABLE	VARIOS	SEC. FOTOGRAMAS DNG ARCHIVOS .MXF	WIKIPEDIA
PRORES PROXY	APPLE	ARRIALEXA	COMPONENTES YUV	422	8b	5K P - SD 576 I	SP / NSP	INTRAFRAME 20:1	22.8 MB/s (4K)	VARIOS	ARCHIVOS .MOV ARCHIVOS .MXF	APPLE
PRORES LT	APPLE	ARRIALEXA	COMPONENTES YUV	422	8b	5K P - SD 576 I	SP / NSP	INTRAFRAME 12:1	51 MB/s (4K)	VARIOS	ARCHIVOS .MOV ARCHIVOS .MXF	APPLE
PRORES 422	APPLE	ARRIALEXA	COMPONENTES YUV	422	8b	5K P - SD 576 I	SP / NSP	INTRAFRAME 8:1	73 MB/s (4K)	VARIOS	ARCHIVOS .MOV ARCHIVOS .MXF	APPLE
PRORES HQ	APPLE	ARRIALEXA	COMPONENTES YUV	422	10b	5K P - SD 576 I	SP / NSP	INTRAFRAME 5:4:1	110 MB/s (4K)	VARIOS	ARCHIVOS .MOV ARCHIVOS .MXF	APPLE

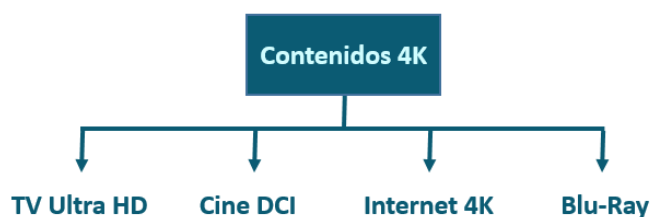
Vínculo a la web de [709 MediaRoom](#). En la sección ‘descargas’ se accede al archivo pdf con la tabla de códecs.

Difusión en Ultra HD

Para saber cómo están las cosas en el terreno de la difusión de vídeo en 4K hemos entrevistado a [Damián Ruiz Coll](#), investigador especializado en ‘compresión de vídeo’, quien nos ha ayudado a comprender cuál es la situación actual y cómo funciona el complejo entramado de entidades y empresas que actúan en la estandarización e implantación de este salto tecnológico.



Para la difusión de los contenidos en 4K se pueden considerar distintos escenarios: las salas de exhibición de cine digital, la radiodifusión televisiva en Ultra HD y los nuevos Ultra HD Blu-ray.



La exhibición de cine es un entorno controlado que se rige por el estándar de Digital Cinema Initiatives (DCI). DCI es un consorcio, en el que participan los grandes estudios de cine estadounidenses, que ha definido las normas técnicas para el cine digital. Han establecido el estándar que se utiliza en todo el mundo en cinematografía digital y el formato de los archivos digitales para la proyección: la resolución, la relación de aspecto, la frecuencia de fotogramas, el espacio de color, la codificación, etc.

Para la proyección de cine en salas se sigue esta norma única que se ha impuesto en todo el mundo.



Proyector 4K Sony SRX-R515.

Para la televisión hay distintas organizaciones internacionales de normalización que establecen los estándares. Es un mercado abierto y competitivo. En este caso el elemento crítico es la interoperabilidad: la industria de la electrónica de consumo debe fabricar unos televisores capaces de entender las señales que les llegan.

La norma BT-2020 es una recomendación de la ITU donde se especifican varios aspectos de la televisión de ultra alta definición como son: la resolución espacial de las pantallas, la frecuencia de fotogramas, el submuestreo de color, la profundidad de bits o el espacio de color.

En Estados Unidos, la SMPTE también ha publicado una norma para 4K/Ultra HD (ST 2036).

Para la implementación de estas normas y la colocación de productos de electrónica en el mercado se tienen que poner de acuerdo los proveedores de contenidos, los operadores de televisión y los fabricantes de televisores, con el fin de asegurar la interoperabilidad. Hay varios consorcios empresariales que hacen esta labor. Los más influyentes son DVB en Europa, ATSC (Advanced Television Systems Committee) en Estados Unidos e ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting) en Japón.



La recomendación de DVB para Ultra HD está en una primera fase inicial. No está desarrollado todo el potencial en cuanto a rango dinámico, espacio de color, profundidad de bits y resolución temporal. El gran salto cualitativo está aún pendiente de concretarse. Por ahora se sigue con el espacio de color BT-709 y la emisión en 4:2:0 con 8 bits de profundidad de color.

En Estados Unidos, Next Gen TV (ATSC 3.0) es el nombre de la norma para Ultra HD. Y en Japón, ISDB y NHK, la empresa de radiodifusión pública están explorando la resolución 8K.

Internet es un escenario distinto puesto que hay una gran diversidad de dispositivos y pantallas que se pueden conectar. También los ordenadores tienen mucha más agilidad para adaptarse a distintos formatos y códecs.



Interfaz Smart TV en un televisor Samsung 4K. Fuente: HSN.

Hay dos organismos internacionales que definen los formatos, la codificación y la compresión: la ITU y la ISO (*International Organization for Standardization*). Son familias distintas y de alguna manera enfrentadas, pero para tener éxito están abocadas a unirse cada cierto tiempo. Eso pasó con el MPEG.2. Antes de que empezara MPEG.2, la ITU hacía estándares de vídeo, como por ejemplo el H.261, y la ISO hacía los suyos, como por ejemplo el MPEG.1. Para definir el MPEG.2 (H.262) la ITU y la ISO se unieron para hacer la norma en colaboración. Tuvieron mucho éxito y se volvieron a juntar de nuevo para hacer el MPEG.4 AVC (H.264). En 2010 crearon el HEVC (H.265), también llamado MPEG.H parte II Vídeo, que es el códec que se va a utilizar tanto para la televisión Ultra HD como para la difusión de contenidos 4K en internet. Sin embargo, hay limitaciones para la expansión de HEVC debido a las patentes que requieren el pago de licencias. Algunas empresas de streaming como Netflix y YouTube están promoviendo el nuevo códec AV1 que se postula como alternativa.



Los primeros equipos Blu-ray Ultra HD se empezaron a distribuir en 2015. El formato es compatible con los televisores 4K que están en el mercado, con una resolución 3.840 x 2.160 y una frecuencia de fotogramas que llega hasta los 60 fps. Utilizan el HEVC (H.265), 10 bits y submuestreo de color 4:2:0. La tecnología está preparada para detectar si el monitor tiene capacidad para reproducir el espacio de color de BT-2020. Permite tres tamaños de disco: 50 GB a 82 Mbit/s, 66 GB a 108 Mbit/s y 100 GB a 128 Mbit/s. Blu-ray también puede ser un formato a considerar para *backup* de datos.



En la siguiente tabla se presentan esquemáticamente las distintas organizaciones internacionales de normalización e interoperabilidad que están actuando para definir el mercado del video UHD.

ITU	International Telecommunication Union	ITU es la organización internacional de normalización que ha creado los estándares H.26x. Conjuntamente con ISO han definido el estándar HEVC (H.265).
ISO	International Organization for Standardization	ISO es la organización internacional de normalización que ha creado los estándares de la serie MPEG. Conjuntamente con ITU han definido el estándar HEVC (H.265).
DCI	Digital Cinema Initiative	DCI es un consorcio fundado por los grandes estudios de cine estadounidenses. Han creado los estándares para la exhibición de cine digital en 4K.
DVB	Digital Video Broadcasting	DVB ha creado el modelo de televisión digital que se utiliza en Europa y otras regiones del mundo. Actualmente están definiendo el modelo de radiodifusión de Ultra HD. La norma de referencia es ETSI.TS101.154.
EBU	European Broadcast Union	EBU es una asociación de radiodifusores públicos europeos y empresas asociadas. Siguen las recomendaciones de DVB.
ATSC	Advanced Television Systems Committee	ATSC ha creado el modelo de televisión digital que se utiliza en EE.UU. y otras regiones del mundo (fundamentalmente en Norteamérica). Para el 4K están trabajando una nueva norma que se llamará ATSC 3.0.
SMPTE	Society of Motion Picture & Television Engineers	SMPTE es una asociación profesional con mucha influencia internacional que hacen normas que afectan a la producción audiovisual. Para la televisión Ultra HD la norma de referencia es la SMPTE ST 2036:2014.
ISDB	Integrated Services Digital Broadcasting	ISDB es el consorcio que ha creado el modelo de televisión digital que se utiliza en Japón con una importante implantación en Sudamérica.
DTMB	Digital Terrestrial Multimedia Broadcast	DTMB es el estándar de televisión digital que se utiliza en China.

Para impulsar esta nueva tecnología la industria creó en 2015 un grupo de trabajo, la [UHD Alliance](#), que pone en relación a los fabricantes de pantallas con los productores, los dueños de contenidos y los distribuidores. Es una iniciativa promovida por los grandes estudios de producción de cine y los fabricantes de pantallas, y su objetivo es favorecer la comercialización y la confianza de los consumidores finales en esta nueva tecnología.



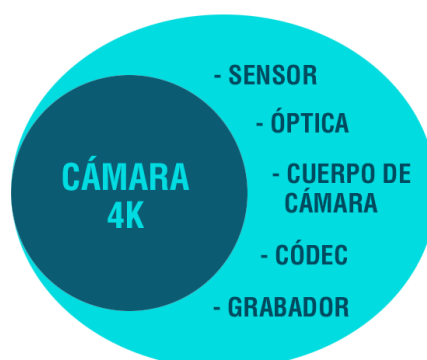
Logotipo de Ultra HD Premium. Fuente: UHD Alliance.

Cámaras para cinematografía

La tecnología digital para la captación de imágenes cinematográficas ya alcanzó hace años los niveles de calidad de la película fotoquímica. La producción de cine en los formatos analógicos es ya muy residual y casi todos los laboratorios de revelado de película han cerrado definitivamente.

Por otra parte, la distancia tecnológica que ha separado siempre los mundos del cine y televisión se ha reducido. La convergencia se ha producido en torno a los conceptos de cine digital en 4K y televisión de Ultra HD. Ambos medios ya utilizan la misma tecnología y los mismos instrumentos.

En esta sección se presenta un panorama de las cámaras digitales de uso profesional analizando los [sensores](#), las [ópticas](#), los [cuerpos de cámara](#) y los [dispositivos de grabación](#). No están en esta relación todos los equipos periféricos que rodean a la cámara en una grabación profesional porque la lista sería demasiado larga, pero se ha intentado dar una visión panorámica del mercado de las cámaras profesionales 4K y superiores.



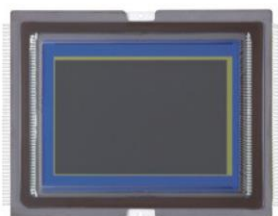
Componentes clave de un sistema de captación de imágenes cinematográficas.

La calidad de las ópticas y de los sensores de las cámaras es, sin duda, unas de las claves fundamentales para la ultra alta definición y el cine 4K. Para adentrarnos en este asunto hemos entrevistado a [Julio Gómez](#), formador, *betatester* y experto en esta materia. Hemos intentado resumir, de forma simplificada, unos conceptos básicos y unas opiniones que amablemente nos ha transmitido.



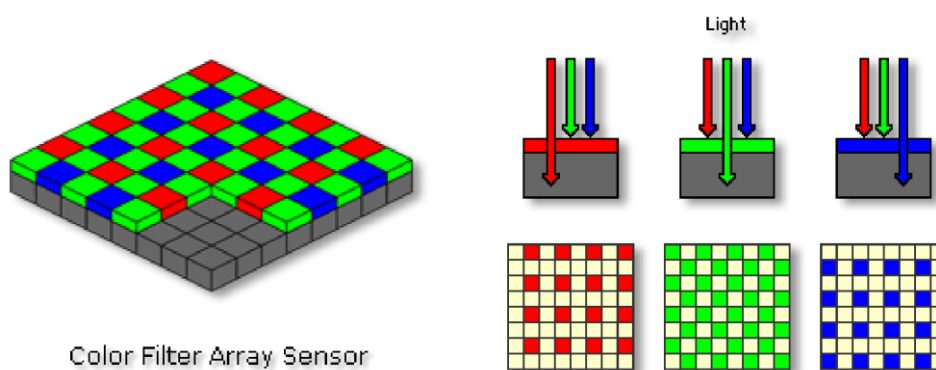
Sensores

Los sensores están en el plano focal de las cámaras digitales. Es el plano donde convergen los haces de luz que atraviesan el objetivo y está compuesto por una matriz de millones de cavidades captadoras de luz llamadas fotodiodos. Durante la exposición, los fotodiodos quedan al descubierto para recoger y almacenar la información de brillo y color de cada píxel.



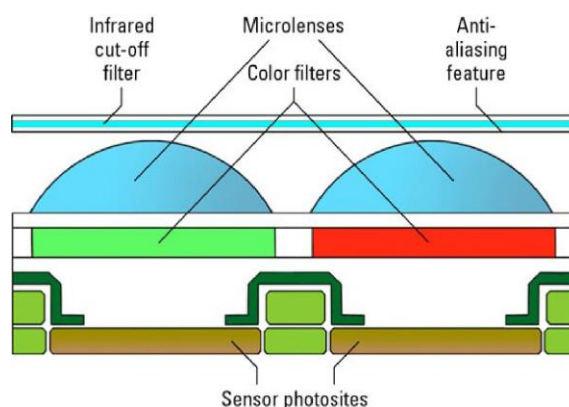
Sensor de una cámara digital.

Para captar el color se colocan unos filtros cromáticos delante de cada uno de estos fotodiodos. La tecnología más extendida para esta función es la máscara de Bayer que está formada por un 50% de filtros verdes, un 25% de rojos y un 25% de azules. Interpolando dos muestras verdes, una roja y una azul se obtiene un píxel de color. En los archivos *raw* se guarda la información del patrón de Bayer de forma directa, sin interpolaciones. Por ello, al proceso de relevado *raw* también se le conoce como ‘debayerización’ (*debayering*).



Patrón Bayer que se usa en los sensores para captar la información de color de cada píxel. Fuente: Vincent Bockaert.

Aparte de los filtros de color del patrón Bayer, en un sensor hay otros elementos: un filtro de paso bajo para el *anti-aliasing*⁷, un filtro de infrarrojos (IR)⁸, unas microlentes⁹ y, dependiendo de las cámaras, unos filtros de densidad neutra (ND).



Arquitectura del sensor de captación digital de imágenes.

Todos estos filtros del sensor, que son necesarios, lastran el potencial de resolución que pueden dar los objetivos y la cantidad de luz que llega a cada fotodiodo, afectando también al rango dinámico de la imagen resultante. A día de hoy el rango dinámico es el gran reto para aumentar la sensación de calidad de una imagen, tanto o más que la resolución.

Al aumentar el tamaño de los fotodiodos, es decir con sensores grandes con menos megapíxeles, llega más cantidad de luz y, por lo tanto, se incrementa potencialmente el rango dinámico.

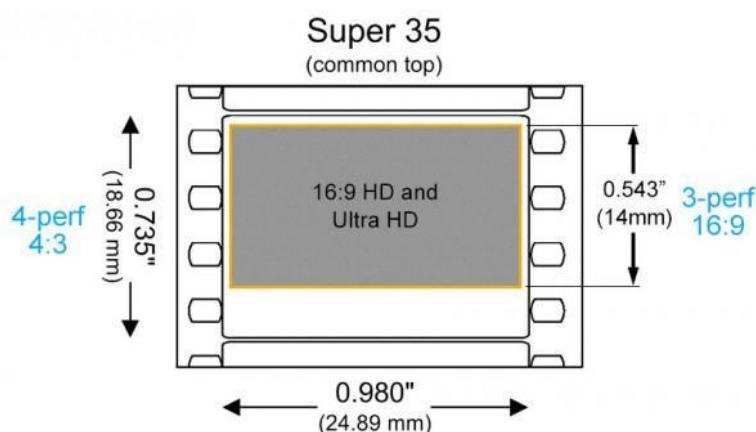
El tamaño del sensor determina el tipo de objetivo que se necesita. Las cámaras de cine tradicionales utilizaban película de 35 mm y la denominación de los tamaños de los sensores digitales sigue utilizando esta referencia, indicando así que los objetivos que se utilizaban en cine y en fotografía siguen siendo válidos para estas nuevas cámaras.

Pero los términos 35 mm, Super 35 mm, *full frame*, etc., no son muy precisos puesto que el número 35 hace referencia al ancho en milímetros de una película fotoquímica considerando también la zona de las perforaciones y sin tener en cuenta la relación de aspecto. En la siguiente imagen se puede apreciar la correlación de tamaño de la película fotoquímica y los sensores digitales de Super 35 mm.

⁷ Cualquier sistema que toma muestras de una señal continua a intervalos discretos puede presentar *moiré* en algunos casos. Por eso se utilizan filtros de paso bajo (*anti-aliasing*) en la mayoría de las cámaras del mercado que reducen la resolución de detalles potencialmente problemáticos que superen la capacidad de discernir detalles del sensor.

⁸ Los filtros IR están diseñados para bloquear las longitudes de onda infrarrojas dejando pasar la luz visible. Se añaden delante de los sensores de las cámaras, dada la gran sensibilidad de estos a la luz casi infrarroja.

⁹ Las microlentes se ocupan de dirigir los rayos de luz a la zona fotosensible.

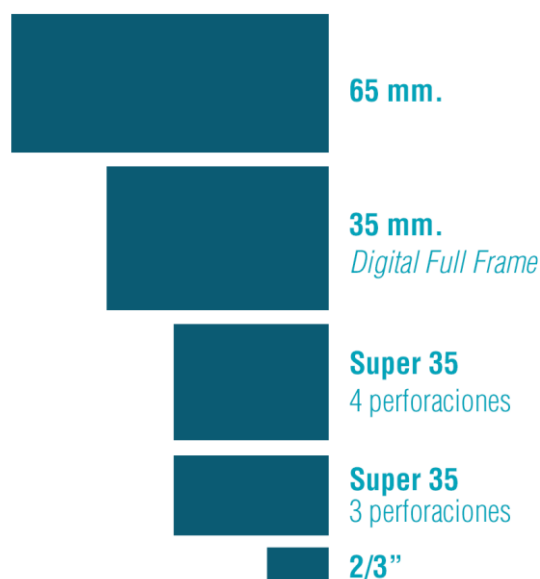


*Tamaño de los sensores digitales de Super 35 mm en relación con la película de cine.
Fuente: Wikipedia y Wolfcrow.*

El tamaño del sensor tiene también una influencia directa en la profundidad de campo. Las cámaras con sensores más grandes, por las características de la óptica que utilizan, proporcionan menos profundidad de campo. Por este motivo, en televisión se han utilizado habitualmente sensores pequeños, más sencillos de ajustar y que dan mucha profundidad de campo. Es una característica muy efectiva para grabaciones rápidas realizadas por un solo operador. En cine, con película de 35 mm, el foco era más crítico dando lugar a bellas imágenes que utilizan el enfoque selectivo. Las cámaras digitales de cine han heredado esa característica porque utilizan sensores grandes.

Para aumentar la espectacularidad y la calidad de la imagen cinematográfica se ha utilizado, en algunas ocasiones, la película de 70 mm (la imagen en positivo que se proyectaba ocupaba aproximadamente 65 mm). En cine digital también se está viendo la misma tendencia: la Alexa 65 tiene un sensor de 65 mm que requiere objetivos fabricados específicamente para este tamaño; Red y Panavision también han lanzado nuevas cámaras 8K con un sensor de tamaño superior al *full frame*.

En la siguiente figura se pueden comparar los tamaños de sensores más habituales en las cámaras profesionales 4K.



*Comparación de los tamaños de los sensores más habituales para las cámaras 4K.
Fuente: 709 MediaRoom.*

Los sensores más grandes (de 65 mm) se utilizan en las cámaras de cinematografía de gama alta, como por ejemplo la Arri Alexa 65 con una resolución espacial de 6K (6560 x 3102).

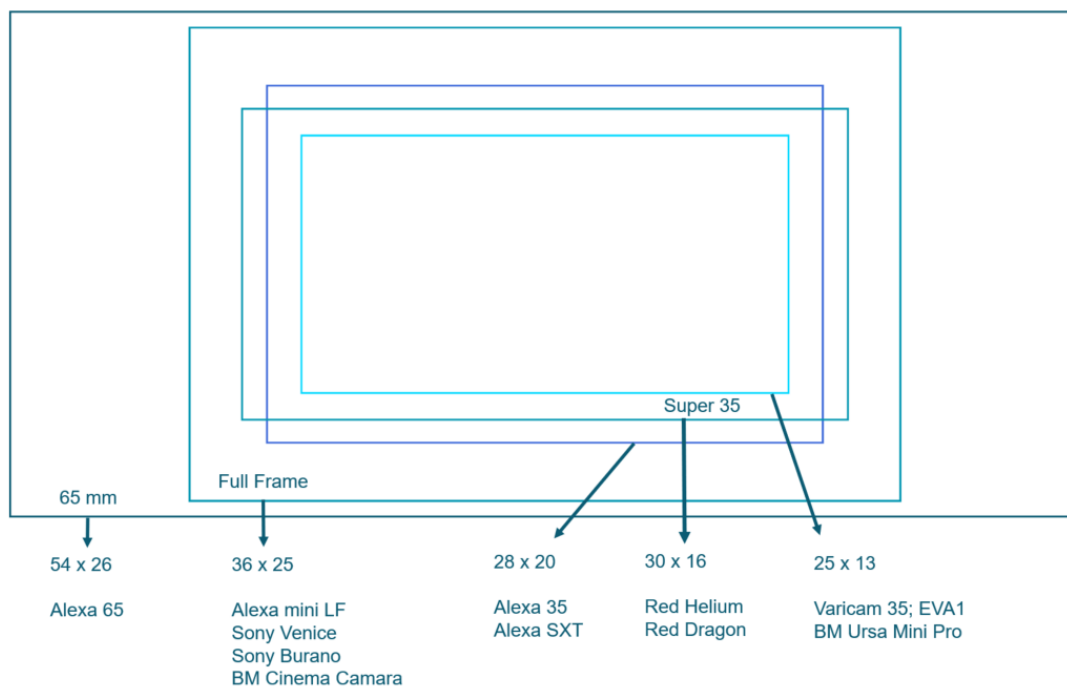
El formato *full frame* (equivalente a 35 mm-8 perforaciones) se utiliza mucho en fotografía y recientemente se está extendiendo en cinematografía. Hay cámaras fotográficas que graban vídeo con un sensor *full frame*. Las cámaras de cine digital Sony Venice 2, Sony Burano, Red V-Raptor, Red V-Raptor XL, Panavision DXL2, Arri Alexa LF o Arri Alexa Mini LF también emplean tamaños de sensor similares.

El sensor de Super 35 mm-3 perforaciones lo encontramos en las Arri Amira y Alexa Classic (descatalogada), las de Red y las de Panasonic (ha cerrado su división de cine, pero sus cámaras siguen en catálogo).

El sensor que más se está implementando en las nuevas cámaras está más cercano al Super 35mm-4 perforaciones con una proporción de 1,55:1 (modo llamado en las Alexa *Open Gate* 3:2) como en las Arri Alexa SXT-W y el de las ALEXA 35. Esta relación de aspecto se utiliza en muchas ocasiones con lentes anamórficas 2x para rodar en los formatos panorámicos *scope* 2,39:1.

El sensor de 2/3" se utiliza frecuentemente en cámaras de televisión.

En la siguiente imagen se puede apreciar las diferencias de tamaño entre algunos sensores 'Super 35' en comparación con el sensor de la Alexa 65 y el *full frame*.



Tamaños de sensor de distintas cámaras de cine digital.

Ópticas para 4K

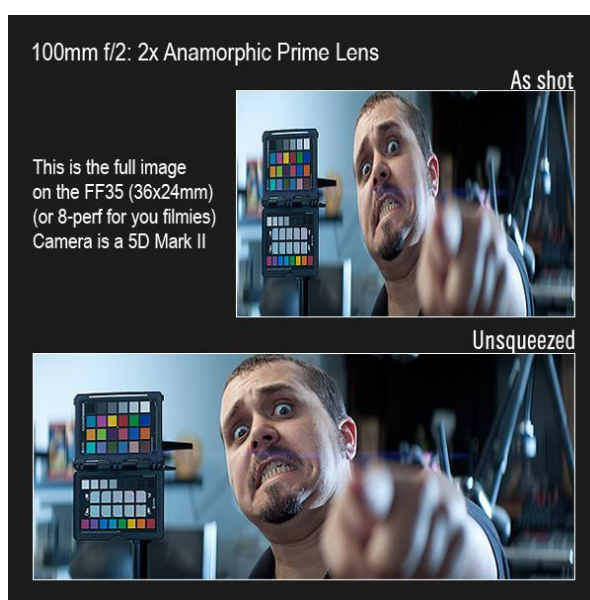
Las ópticas de cine y fotografía tradicionales ya eran capaces de generar imágenes con resolución suficiente para los estándares actuales porque los soportes fotoquímicos siempre han tenido esa resolución e incluso mucha más.

Pero no es lo mismo un objetivo de fotografía que uno de cine. En fotografía no hay problemas para corregir a posteriori el *aliasing* (*moiré*) pero no es posible hacerlo con facilidad en la imagen en movimiento. Desde el punto de vista óptico, los objetivos para cine no son necesariamente de mayor calidad, pero mecánicamente son más adecuados a su empleo en una producción cinematográfica (dimensiones y pesos idénticos o muy similares en todo el juego, misma posición de los anillos de enfoque y apertura de diafragma y rendimiento óptico también uniforme a lo largo de la gama, así como unidad en la reproducción cromática)

En ópticas de cine podemos empezar diferenciando las ópticas esféricas de las anamórficas.

Las anamórficas se utilizan para hacer los formatos panorámicos scope. Comprimen la imagen en sentido horizontal para aprovechar toda la superficie del sensor deformando ópticamente la imagen. En postproducción se 'desanamorfiza' para obtener el formato panorámico final. La mayoría de los fabricantes ofrecen lentes anamórficas con dos factores de deformación horizontal: 1,3x y 2x.

Por ejemplo, se puede utilizar una cámara Alexa 35 con sensor cercano al 4:3 (Super 35 mm-4 perforaciones) y una óptica anamórfica para cubrir gran parte del sensor. Si el factor de anamorfosis es un 2x se obtendrá una imagen suficientemente panorámica para recortarla a 2,39:1.

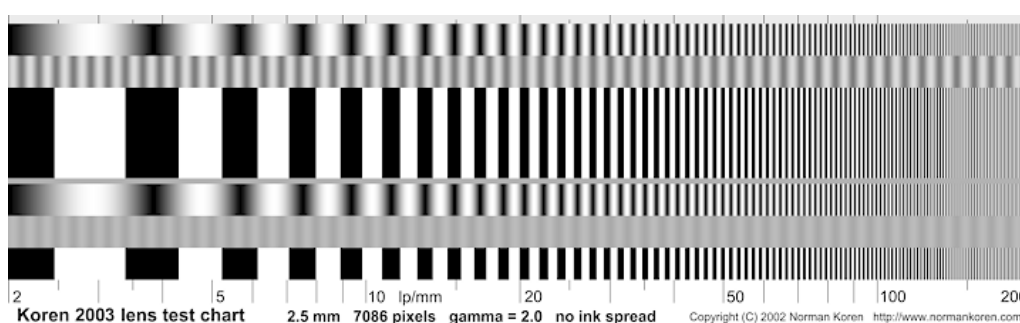


Pruebas con una lente anamórfica para generar formatos panorámicos. Fuente: PHFX Phil Holland.

Las ópticas esféricas son las que no deforman ópticamente la imagen.

También se pueden clasificar las ópticas por su distancia focal. Los objetivos con distancia focal fija son ópticamente menos complejos y suelen dar más calidad. Los de distancia focal variable son los *zooms* y se utilizan mucho para televisión.

La resolución de las ópticas se mide en pares de líneas por milímetro. Es un indicador que se refiere a la capacidad de la óptica para representar nítidamente y de forma diferenciada dos líneas: una negra y una blanca. En una situación ideal para 4K necesitaríamos unas 42 líneas por milímetro. Cualquier óptica estándar de cine de hace 30 años tenía más de 100 pares de líneas por milímetro y la mayoría de las actuales llegan casi a 200, con lo cual este no es el elemento crítico en los objetivos. El límite de la resolución, actualmente, está en el sensor, aunque también hay variables que afectan a la resolución de los objetivos, como son la apertura del diafragma o las diferentes respuestas en el centro o los bordes del fotograma.



Carta para la evaluación de la resolución de una lente. Fuente: Norman Koren.

Al aumentar la resolución de los sensores también se han intensificado los problemas de **aliasing**, un defecto de las imágenes en movimiento que se produce cuando no se puede discernir con claridad algunos elementos de detalle y aparecen cosas que no son reales: líneas en diagonal, efecto rejilla, bandas de color, etc. El *aliasing* más común es el *moiré* que se produce, por ejemplo, al grabar a un personaje con una camisa de rayas finas o al filmar una textura de rejilla. Es un problema que surge por la combinación de una óptica y un sensor. A mayor resolución, más pares de líneas por milímetro y más problemas de *aliasing*¹⁰. Los filtros de paso bajo que tienen los sensores, también llamados filtros de *anti-aliasing*, sirven para paliar este problema, pero reducen la resolución, la nitidez y el contraste que puede proporcionar el objetivo.

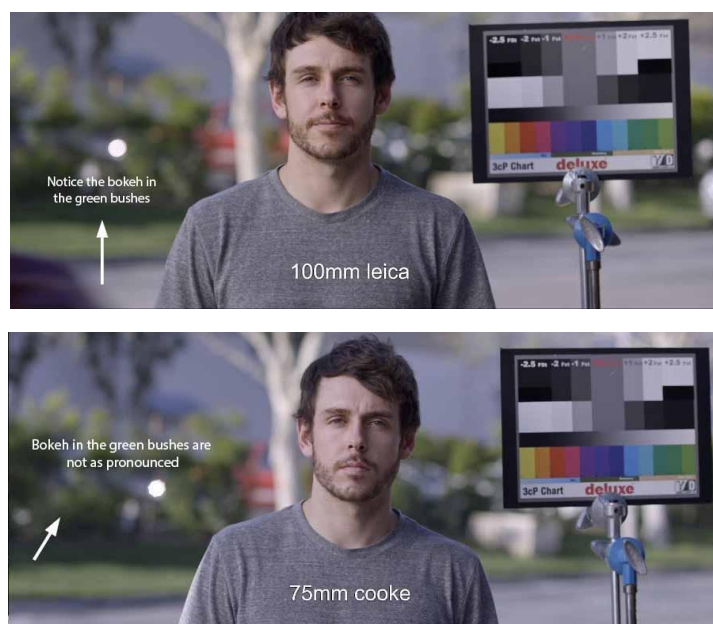
No todas las ópticas dan el mismo resultado en cuanto a contraste y color. Por ejemplo, las ya clásicas Master Prime de ARRI/Zeiss proporcionan un microcontraste muy acusado. Con las Cooke, por el contrario, se consigue una imagen mucho más suave y empastada. Podría parecer que tienen mucha menos resolución, pero no es así. Lo que tienen es otro aspecto y han sido diseñadas para dar estos resultados diferenciados. Para elegir la óptica hay que conocer estos parámetros que no son solo técnicos, sino de estética fotográfica.

¹⁰ Para más información sobre la relación de *aliasing* y la resolución se puede consultar el artículo "[Resolution vs. Aliasing: implications for motion capture](#)" publicado en la página web de Red.



Fotograma de World without End grabado con cámara Arri Alexa y óptica Cooke S4. Fuente: Cooke.

Otro aspecto estético importante para caracterizar una óptica es el bokeh. Es un término que se utiliza para referirse a la imagen que proporciona un objetivo en función de la estética de las zonas desenfocadas que produce. *Bokeh*, en japonés, significa desenfoco. Es especialmente importante en objetivos muy luminosos, ya que en sus mayores aperturas de diafragma pueden producir una profundidad de campo mínima y, por tanto, gran parte de la imagen aparecerá desenfocada.



Comparación del bokeh de una óptica Leica Summilux C y una Cooke S4. Fuente: Hurlbut Visuals Blog.

Las dos ópticas más utilizadas para cine son las Arri-Zeiss y las Cooke, pero hay en el mercado muchas otras marcas muy interesantes. Aunque no es posible abarcar este tema de forma exhaustiva a continuación presentamos algunos ejemplos.

Arri-Zeiss tiene 3 juegos de objetivos. El más sencillo de focal fija se llama Compact Prime, y Compact Zoom es el más sencillo de los de focal variable. El siguiente juego es el Ultra Prime, que corresponde a una gama media-alta y da una tonalidad ligeramente más fría. Finalmente, el juego Master Prime, es el que ofrece mayor calidad. Esta serie también dispone de lentes anamórficas para formatos panorámicos.



Ópticas Arri-Zeiss Master Prime. Fuente: Arri.

Las **Cooke** son muy distintas a las Arri-Zeiss. No tienen tanto contraste, son más uniformes, en cambio tiene un *bokeh* más pronunciado. Los tonos son más cálidos, respetan muy bien los tonos de piel y son más amables con los actores en términos de fotogenia. Es una buena elección para hacer imágenes suaves, con colores pastel y cálidos. Para imágenes más duras, más contrastadas, son más adecuadas las Master Prime de Arri-Zeiss.



Obetivo Cooke de 25 mm. Fuente: Cooke.

Leica tiene las Thalía, las Summilux y las Summicron-C. Tienen una calidad extraordinaria, con un *bokeh* espectacular. Desde el punto de vista de la ingeniería de óptica son de lo mejor que existe, pero dan un *look* muy particular que no gusta a todo el mundo.



Obetivo Leica Summicron-C de 50 mm. Fuente: cw-sonderoptic.

En **Panavision** están las Primo. Estos objetivos no se venden, solo se pueden alquilar. Tienen una montura propia (PV) pero la adaptan a cualquier cámara. Fueron pioneros con los objetivos anamórficos.



Objetivos anamórficos Panavision. Fuente: Panavision.

Hay otras marcas muy interesantes. Por ejemplo, **Angenieux** es mítica en *zooms*. Son ópticas muy versátiles con gran rango y una calidad media buena. En cine, cuando hay que utilizar un *zoom* es frecuente utilizar un Angenieux.



Objetivo Angenieux Optimo Style 25-250. Fuente: Angenieux.

Canon es el primer fabricante de objetivos del mundo en cuanto a número de ventas. Canon Prime es la línea que tienen para cine y son ópticas muy buenas. No son muy utilizadas porque solo se fabrican con montura EF y en cine se usa habitualmente la montura PL, aunque se puedan poner adaptadores para hacer esta conversión. Se han utilizado para las dos últimas temporadas de la serie *Homeland* y el resultado es excelente. Tienen muy buena resolución y un *bokeh* precioso. En cuanto al color, es el característico de Canon, no tan real pero muy agradable a la vista donde los tonos de piel dan muy bien sin necesidad de ajustes posteriores. Se pueden parecer a las Cooke, pero tienen más contraste y más resolución en la parte central.



Objetivo Canon CN-E135 mm T2.2 L F. Fuente: canon.com.

En una gama intermedia están las ópticas **Schneider**. Las Xenar son las que están dirigidas a la cinematografía y las Xenon son más asequibles, pensadas para cámaras *full frame* o DSLR, aunque pueden dar buenos resultados en cualquier registro.



Objetivos Schneider Cine-Xenar. Fuente: Schneider.

En ópticas para cine también tenemos que hablar de las **Hawk**. Tienen dos líneas, una actual y otra *vintage*, que imita a las lentes anamórficas de los años 70, con muchos reflejos internos (tipo *flare*) y que resultan muy atractivas en algunos casos. Un ejemplo reciente de este *look* de Hawk Vintage es la película *Kingsman servicio secreto* (Matthew Vaughn, 2015).



Juego de objetivos de Hawk Vintage 74. Fuente: Vantage film.

Para trabajar en 65 mm, fundamentalmente para la Alexa 65, están las **IB/E Optics** (que se alquilan en Arri Rental), las de Panavision y las de Hawk, que también ha sacado una línea nueva para este tipo de sensores.



La nueva gama de objetivos, rediseñados íntegramente por IB/E Optics a partir de elementos ópticos de Hasselblad HC (Fujinon) para su uso con las Alexa 65. Fuente: Arri Rental.

Para cinematografía *indie* o en proyectos de bajo presupuesto, si se usan ópticas de cine, las más asequibles son las Arri Zeiss Compact Prime 2 o las CN de Canon. **Tokina** ha sacado modelos de ópticas de cine para este segmento de mercado con una relación calidad-precio muy buena.



Objetivo Tokina Cinema Vista 35 mm T 1,5 en una Sony a7S. Fuente: Newsshooter.

Cuando hay muchas restricciones de presupuesto se pueden utilizar ópticas de fotografía que son mucho más baratas. La diferencia no está tanto en la resolución o en la calidad óptica sino en la operación, ya que los objetivos de fotografía no están pensados para hacer cine.

Para televisión, los dos fabricantes de ópticas que copan el mercado son **Canon y Fujinon**. En ambos casos tienen productos preparados para Ultra HD y 4K. Podemos citar las Fujinon Cabrio y las Cine-servo de Canon. Son ópticas *zoom* para televisión con operación mediante servo y pensadas para sensores Ultra HD de Super 35 mm.



Objetivo Fujinon Cabrio con servo. Fuente: fujifilm.eu

En la siguiente tabla están los vínculos a las páginas comerciales de los fabricantes de ópticas que hemos citado en el texto.

Marca	Modelo	Vínculo
Arri Zeiss	Signature	zeiss.es
	Master Prime	
	Master Anamorphic	
	Ultra Prime	
	Compact Prime	
	Compact Zoom	
Cooke	S4/i Prime Lenses T2	cookeoptics.com

Marca	Modelo	Vínculo
	5/i Prime Lenses T1.4 Anamorphic/i T2.3	
Leica	Thalia Summilux Summicron-C	leitz-cine.com
Panavision	Primo	panavision.com
Angenieux	Optimo Style Series	angenieux.com
Canon	Prime Broadcast lenses	canon.com
Schneider	Cine-Xenar III Xenon FF-Prime	Schneiderkreuznach
Vantage Hawk	Hawk V-lite/anamorphics Vintage'74 / one T1	vantagefilm.com
Tokina	Cinema ATX	tokinacinema.com
Fujinon	Broadcast lenses	fujifilm.com

También se pueden descargar en [709 MediaRoom](#) pruebas realizadas con distintas ópticas de cinematografía.



Pruebas de lentes: descargas gratuitas de 709 MediaRoom

Monturas

Para la fijación de las ópticas a los cuerpos de cámara hay distintos tipos de monturas vinculadas con los fabricantes y con el tipo de sensor para el que se ha diseñado el objetivo. También hay adaptadores para hacer conversiones. Los tipos de montura más utilizados son los siguientes:

- PL (Positive Lock): montura tradicional de ARRI para cine y con sensores de Super 35mm.
- LPL (Long Positive Lock): montura actual de ARRI para sus ópticas *full-frame*, que poco a poco han ido adoptando el resto de fabricantes.
- B4 es la montura que se usa para televisión y sensores de 2/3 de pulgada.
- PV es la montura propia de Panavision para adaptar sus objetivos a las distintas cámaras del mercado.
- EF (Electro Focus) es la montura de Canon. Otros fabricantes de cámaras como Blackmagic también utilizan la montura EF para poder utilizar las ópticas de Canon¹¹.
- E: Sony utiliza la montura tipo E y tipo A para su línea de cámaras *mirroless*. Para las cámaras de cinematografía ofrece la flexibilidad de utilizar también la montura PL.
- MFT (Micro Four Thirds) es una montura que se utiliza con sensores un poco más pequeños en cámaras Olympus y Panasonic.



Distintos tipos de montura y sensor para la cámara Blackmagic Ursa. Fuente: Blackmagic.

¹¹ Blackmagic se ha adherido a la alianza L de Leitz, por lo que es presumible que a partir de ahora use esa montura.

Gama de cámaras

La gama más alta de cámaras digitales está dirigida a la cinematografía digital. Todos los conceptos que se han presentado en las secciones anteriores —resolución espacial y temporal, rango dinámico, curvas de gamma logarítmicas, espacios de color, etc.— se ven reflejados en estas cámaras que son con las que se produce el cine de ficción de alto presupuesto. Se han diseñado para obtener el máximo nivel de calidad posible. En cuanto a su ergonomía o su operatividad, están pensadas para que sea un equipo de personas las que las opere, no un único operador. Varios fabricantes tienen productos dirigidos a este segmento de mercado: [Arri](#), [Red](#), [Sony](#), [Panasonic](#), [Canon](#), y [Blackmagic](#) son los más relevantes.



Cámara de cinematografía digital Arri Alexa 35. Fuente: Arri

Para grabaciones con altas frecuencias de fotogramas encontramos la Phantom Flex de Vision Research, capaz de grabar 1.000 fps en 4K.



Cámara Phantom Flex4K. Fuente: Vision Research.

Otros modelos de cámara 4K están orientados a la producción de documentales de alta calidad y a la televisión Ultra HD. Estos equipos son la actualización de las antiguas cámaras de hombro de televisión para periodismo electrónico (ENG, *Electronics News Gathering*) y documentales. Actualmente pueden tener un tamaño menor o incluso no tener soporte para apoyarlas en el hombro, pero siguen conservando ese espíritu de cámara más ligera que puede ser operada por

una sola persona. No ofrecen los mismos niveles de calidad que las cámaras de cine digital pero cumplen con los estándares profesionales de la televisión (*broadcast*).



Cámara Arri Amira, orientada a producción de documentales y televisión. Fuente: Arri

En este tipo de cámaras es importante la robustez (porque van a recibir un uso muy intensivo) y la ergonomía operativa. Algunos equipos incorporan la opción *Pre-Record*, muy interesante para deportes y documentales puesto que permite empezar a grabar unos segundos antes de pulsar el botón. Para este segmento de mercado encontramos cámaras de los fabricantes especializados en cine, como Arri o Red, y también de otras marcas con una gama más amplia de productos como Sony o Canon.

La producción de eventos deportivos en directo siempre ha sido un campo de experimentación donde probar las nuevas tecnologías de la imagen. Las cámaras de estudio de Sony, por ejemplo, son muy versátiles para este tipo de producciones.



Dos configuraciones de la cámara Sony HDC-3500 para producción de TV en 4K. Fuente: Sony.

Las cámaras fotográficas réflex DSLR y *mirrorless* pueden grabar video de alta calidad y se usan para pequeñas producciones independientes. En cuanto a ergonomía, no se adaptan bien al periodismo electrónico ya que requieren muchos accesorios que hace difícil y delicada la operación. Algunos modelos tienen sensores grandes (*full frame*) con los que se consigue baja profundidad de campo y la apariencia visual que dan las cámaras de cine. Podemos destacar la Sony Alfa ZV-E1, las Canon EOS R o la Panasonic Lumix GH6 con sensor micro 4/3.



Cámara Panasonic Lumix GH6.

En una gama de producto más económica encontramos las minicámaras o cámaras de mano. Muchos fabricantes están sacando al mercado cámaras 4K destinadas al mercado del vídeo que no cumplen los estándares del cine digital o del mercado profesional de la televisión. Este salto se refleja en el precio de los equipos, mucho más asequibles, y en los códecs que utilizan. Para reducir la tasa de transferencia y poder grabar en las tarjetas SD se recurre al submuestreo de color y a la compresión. Siempre que el color se submuestrea a 4:2:0, la señal queda fuera de las normas profesionales de producción. Otro indicador es el flujo de transferencia del códec de grabación. Cuando el flujo de transferencia es bajo (por ejemplo 100-200 Mbit/s en 4K) se trata de un códec de calidad semiprofesional, *prosumer*, doméstico o como se quiera denominar esta categoría. En la siguiente figura podemos ver una cámara de JVC, la GY-HM250E, que graba Ultra HD (150 Mbps, 24/30p) sobre tarjetas SDXC (UHS-I Speed class3).



Cámara de mano JVC GY-HM250E. Fuente: jvc.com.

Otra categoría muy interesante es la de las minicámaras de acción y las cámaras de los teléfonos móviles. Se utilizan para grabar clips cortos de gran espectacularidad o para grabar escenas de acción como complemento de otras cámaras de cine digital o de *broadcast*. La GoPro Hero 10 es una minicámara 4K muy ligera que puede tener este tipo de uso complementario como cámara de acción. Graba internamente en una tarjeta SD utilizando un códec con mucha compresión y tiene una óptica fija gran angular. Puede resultar muy útil para volar en un dron, lanzarse por un precipicio o en cualquier situación de riesgo a donde no se puede llegar con una cámara profesional.



Cámara de acción GoPro Hero 10. Fuente: Gopro

Cámaras de cinematografía

Arri, un estándar para cinematografía digital

Las cámaras Arri tienen una robustez, una colorimetría y un rango dinámico extraordinarios. Muchos directores de fotografía de las grandes producciones de cine eligen estas cámaras para sus rodajes. Son especialmente reconocidas por sus resultados en los tonos de la piel.

Existen distintos modelos de la serie Alexa, orientada a la cinematografía digital: Alexa 35, Mini LF, LF, SXT. La Amira está pensada para documentales de alta calidad o televisión.



Arri Alexa 35. Fuente: [Arri](#).



Alexa Mini LF. Fuente: [Arri](#).

Las cámaras Alexa se introdujeron en el mercado en 2010 y se convirtieron rápidamente en las cámaras digitales más fiables y más utilizadas en la industria del cine profesional. El modelo Alexa 65, la más alta de gama tiene un sensor de 65 milímetros y una resolución de 6K. Está

disponible solo en alquiler. Este sensor requiere también ópticas específicas para 65 mm. Tanto Arri Rental, como Panavision o Vantage, tienen objetivos de máxima calidad diseñados para este nuevo tamaño de sensor.

Barbie (2023), The Batman (2022), Dune (2021) Joker (2019), Roma (2019)... son algunos ejemplos de películas que han utilizado Alexa 65. De hecho, en los últimos años la mayoría de las películas que obtuvieron el Oscar a la mejor dirección de fotografía se rodaron con algún modelo de Alexa.

ALEXA 65



Cámara Arri Alexa 65. Fuente: [Arri](#)

Las cámaras Amira, por su soporte de hombro y su ergonomía, están pensadas para documentales y televisión. Amira solo graba con códecs de imagen procesada mientras que las Alexa pueden grabar en procesado (ProRes) o en raw sin compresión (ArriRaw).



Cámara Arri Amira. Fuente: [Arri](#)

Red, pioneros del 4K

Red fueron pioneros en cine digital 4K con la Red One en 2007. En ese momento fueron unos de los protagonistas de la transición del cine del fotoquímico al digital. Las cámaras Red eran muy baratas en relación con los precios de la época.

En la actualidad es un fabricante bien posicionado en el mercado de cámaras de cine de máxima calidad. Tienen modelos que no son muy grandes, muy convenientes para determinados usos como la *steadycam*.



Cámara Red V-Raptor XL. Fuente: Red.

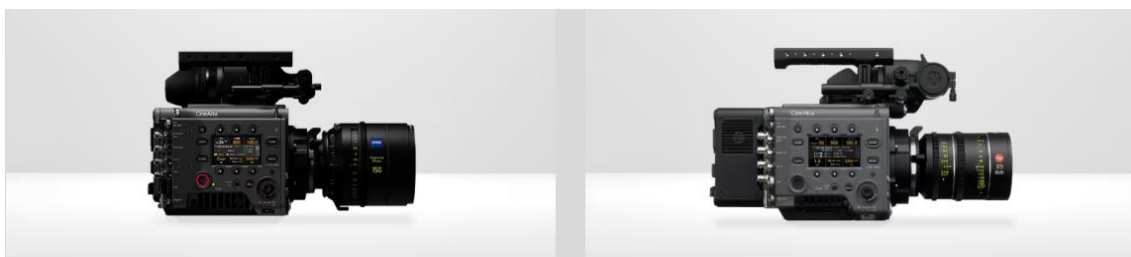
Utilizan el códec RedCode Raw que admite distintos niveles de compresión. Podría ser recomendable trabajar con alguna de estas cámaras a 8K para asegurar a nivel de resolución la compatibilidad de nuestras imágenes con los sistemas de masterización del futuro.

La ciencia de color desarrollada por Red IPP2 ha aportado a estas cámaras un mayor rango dinámico, una mejor reproducción cromática incluyendo los tonos de pieles y una disminución del ruido, mejorando sustancialmente la calidad de la imagen.

Sony, cámaras 4K para toda la gama del mercado

Sony tiene cámaras para toda la gama de mercado: cinematografía digital, *broadcast*, cámaras de mano y DSLR.

Sony Venice 2 es la cámara de cine digital con la que Sony demuestra su compromiso con los creadores cinematográficos. La nueva ciencia de color, sistema de menús simplificados y códecs de grabación procesados y raw dan cuenta de ello. La cámara tiene un sensor tipo *full-frame* y una resolución de 6K. La Burano más ligera y compacta, también es *full-frame* y graba 8K.



Cámaras Sony Venice 2 y Venice. Fuente Sony



Cámara Sony Burano. Fuente Sony

La Sony FX9 es una cámara de mano con muy buenas prestaciones como cámara de documentales y televisión.



Cámara Sony FX9. Fuente: Sony.

Para producción de televisión tienen la HDC-5500V, con sensor 4K 3-CMOS 2/3" de pulgada.



Cámara Sony HDC-5500V. Fuente: Sony

Cámaras 4K de Panasonic

Para cinematografía digital, Panasonic ofrece la gama Varicam, unas cámaras de altas prestaciones que continúan la tradición de modelos anteriores que se usaron mucho con la llegada de la HD, por su curva de gamma logarítmica y los suaves tonos de piel que se consiguen.

En este [vínculo](#) se puede acceder al artículo publicado en 709 MediaRoom sobre las pruebas realizadas por Tommie Ferreras y Luis Ochoa



Cámara Panasonic Varicam Pure. Fuente: Panasonic

La Varicam 35 permite la grabación en códecs internos procesados (familia AVC Intra 4K, 4:4:4) y en *raw* sin compresión en grabador externo del fabricante inglés Codex. Destaca por su doble ISO nativa (800 y 5.000) que facilita el trabajo con alta sensibilidad y bajos niveles de ruido. Permite además, como otros fabricantes, la grabación simultánea de varios códecs (*online* y *offline* para la edición y *dailies*) lo que simplifica enormemente los flujos de trabajo. A esto se une la posibilidad de emplear *software* externos para corrección de color monitorizada en tiempo real desde la cámara (*live grading*).

709 MediaRoom también estuvo probando esta cámara y publicó dos artículos que se pueden consultar en los siguientes vínculos: [Parte I](#) (Rafa Roche) y [Parte II](#) (Luis Ochoa).



Cámara Panasonic Varicam 35. Fuente: [Panasonic](#).



Grabador Codex para la cámara Panasonic Varicam 35. Fuente: Codex.

Como cámara de mano tienen la AU-EVA1 con resolución 5,7K y sensor de super 35mm.



Cámara AU-EVA1. Fuente: Panasonic.

En la gama de cámaras de estudio 4K tienen en el catálogo la AK-UC3000 que incorpora un sensor capaz de generar una señal Ultra HD de hasta 3.840 × 2.160/60p.



Cámara AK-UC3000 de Panasonic. Fuente: Panasonic.

Cámaras 4K de Canon

Canon es una marca con mucha tradición, no solamente en fotografía sino también en el mercado de la televisión. Fueron pioneros en 2008 (con la EOS 5D) en grabación de vídeo con cámaras fotográficas DSLR de sensor grande de 35 mm *full frame*.

la EOS C700 FF es una cámara *full frame* que graba 5,9K, con sobremuestreo para garantizarla calidad de las grabaciones en 4K. Una cámara capaz de grabar archivos 4K Raw a 12 bits a través de un grabador CODEX adicional e internamente en tarjeta C-fast 2.0 con resolución 4K con el codec XF-AVC, 10 bits, 4:2:2.



Cámara Canon CANON EOS C700 FF Fuente: [Canon](#).

Para cinematografía digital, también tienen la C700 que graba 4K en un grabador externo en *raw* con el códec CanonRaw.



Cámara Canon EOS C700. Fuente: [Canon](#).

También tienen en el mercado una cámara más ligera orientada a la cinematografía: la C500 Mark II, con compatibilidad HDR SMPTE ST 2084 e ITU-R BT.2100 (HLG) y un sensor *full frame* de 5,9K. Han incorporado a la gama EOS un códec Raw para grabación interna que se llama Cinema Raw Light.



Cámara Canon C500 Mark II. Fuente: [Canon](#).

Blackmagic, cinematografía digital de bajo presupuesto

Blackmagic dispone de un catálogo de cámaras que graban en 4K y resoluciones superiores. Son muy competitivas en cuanto a precio, pueden grabar en *raw* (con compresión o sin ella) o en ProRes /DNx, con curvas de gamma logarítmicas y con 14 f-stops de rango dinámico, por lo que resultan muy atractivas para proyectos de cine de bajo presupuesto.

La URSA Mini Pro G2 tiene un sensor Super 35 mm y graba 4.6K. Cuenta con filtros de densidad neutra integrados, montura intercambiable, compatibilidad con el formato Blackmagic RAW, ranuras para tarjetas CFast y SD UHS-II que facilitan la captura de imágenes a un máximo de 300 f/s y un puerto de expansión que permite grabar por más tiempo directamente en unidades flash o SSD.



Cámara Blackmagic URSA Mini Pro 4.6K G2. Fuente: Blackmagic.

La Blackmagic Pocket Cinema Camera 6K Pro tiene un sensor super 35 con 13 f.stops de rango dinámico. Las imágenes se graban en tarjetas SD/UHS-II, tarjetas CFast, o bien, en un disco externo SSD mediante una conexión USB-C.



Blackmagic Pocket Cinema Camera 6K Pro. Fuente: [Blackmagic](https://blackmagic.com).

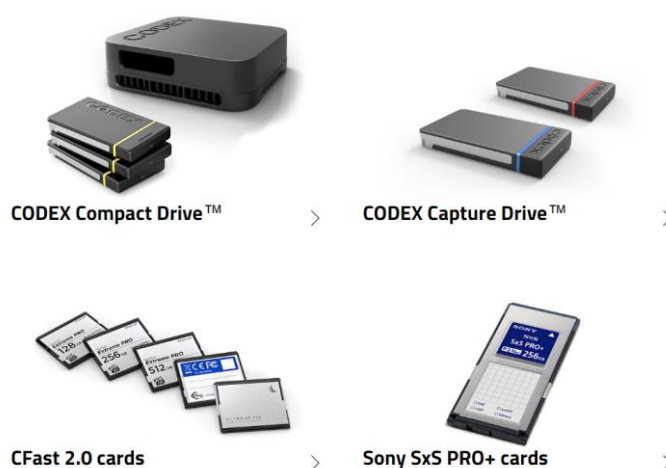
Tarjetas de memoria y grabadores externos

Los sistemas de grabación tienen que ser capaces de soportar los flujos de transferencia del códec que se está utilizando. El módulo de grabación puede estar integrado en la cámara o ser un grabador independiente, externo a la cámara.

Todos los sistemas de grabación utilizan memoria de estado sólido, ya sean tarjetas o discos. Las diferencias entre unas tarjetas de memoria y otras son la capacidad y la tasa de transferencia, es decir, la cantidad de material que pueden grabar y la calidad de los códecs que se pueden usar.

Codex es el líder en sistemas de grabación *raw* y ha colaborado con los principales fabricantes de cámaras de gama alta (Arri Alexa, Panasonic Varicam, Canon etc.).

En las cámaras profesionales se utilizan distintos tipos de tarjetas como las C-fast 2.0, SxS Pro, SRMemory, P2, etc.



Opciones de Arri Alexa para grabación interna: tarjetas Codex, SxS y C-fast. Fuente: [Arri](#)

Para el mercado masivo se suelen utilizar las tarjetas SD que no alcanzan la tasa de transferencia de un archivo 4K de alta calidad.

Otras cámaras, como las Blackmagic han habilitado la capacidad de grabar externamente en discos SSD a través de una conexión USB-C.

Algunos fabricantes de cámaras están ofreciendo la posibilidad de grabar internamente con dos códecs simultáneamente en dos tarjetas diferentes. El de alta calidad en una tarjeta de memoria de estado sólido y en una tarjeta SD unos *proxys* que sirven para visionado y montaje *offline*.

También es frecuente la utilización de grabadores externos. Se pueden utilizar para grabar el material de alta calidad del *online* o bien para grabar los *proxys* de la edición *offline*, o para cualquier necesidad de grabación o reproducción tanto en rodaje como en postproducción. En rodaje, en ocasiones, se utilizan para monitorización, cuando permiten cargar una LUT para ver material logarítmico con un preajuste de color y contraste.

Destacan los monitores / grabadores 4K HDR de Átomos con opción de cargar varias LUT para monitorización o para la grabación.



Grabador externo de Atomos: Shinobi 7. Fuente: Atomos.

Atomos tiene otros modelos con funcionalidad HDR y procesamiento 10 bit: el Sumo que tiene una pantalla más grande y los Ninja que son económicamente más asequibles.



Rodney Charters en el vídeo de presentación del Atomos Sumo. fuente Atomos

Ovide tiene el modelo Koko también de altas prestaciones para la producción profesional.



Monitor-Grabador Ovide Koko 10" 4K HDR

Con algunas cámaras profesionales se utiliza el grabador externo para grabar el códec de edición *online* e internamente en la cámara se graba un códec más pequeño (*proxy*) que se utilizará para el montaje *offline*.

Pero también se puede plantear la cuestión a la inversa: el grabador externo se utiliza para grabar el códec de *offline* mientras la cámara graba en el códec de mayor calidad; por ejemplo, las cámaras Red graban internamente el raw.

Con las cámaras DSLR se utiliza el grabador externo para un códec procesado de buena calidad, como puede ser ProRes, que servirá como material definitivo para el montaje *online*. También hay nuevos formatos Raw con ProRes Raw, Blackmagic Raw o Canon Light Raw que se pueden configurar para generar archivos de menor tamaño.

Otro uso del grabador externo es 'lutear' la señal, es decir, cargar una LUT que modifique el color y el contraste de la imagen. Si la cámara no ofrece la posibilidad de poner una LUT en las salidas SDI, la imagen puede llegar en logarítmico al grabador externo donde se le asigna una LUT. Esta señal corregida se puede utilizar para la monitorización en el set.

Se pueden utilizar también estos grabadores en postproducción para grabar una señal SDI en tiempo real. Se puede obtener, por ejemplo, una copia ProRes a partir de la salida SDI de I/O Box del ordenador. El inconveniente es que se pierde la precisión del código de tiempo, solo se graba la señal de vídeo, no los metadatos. Este procedimiento puede servir perfectamente para entrega a cliente de una copia en ProRes o DNxHR.

Algunos de estos grabadores (como muchos modelos de Atomos) incorporan en sus monitores las EOTF de HDR para poder hacer una previsualización en rodaje.

Referencias sobre captura de imagen y cámara

En la zona de descargas gratuitas del portal [709 MediaRoom](#), en la sección de artículos especializados, se puede descargar en formato pdf la tabla actualizada con las cámaras más habituales para producción 4K. Para acceder a la zona de descargas es necesario crear una cuenta de usuario.



Zona de descargas gratuitas de [709 MediaRoom](#)

Para terminar con este apartado dedicado a la captura de imagen se recomienda consultar los documentos de la siguiente tabla de vínculos del portal Netflix Partner Help Center. El primero que contiene la lista de cámaras aprobadas para las producciones que se vayan a difundir en esta plataforma; y el segundo los roles y responsabilidades sobre la gestión de media y metadatos en el set de grabación.

NETFLIX. Captura de imagen	<u>Cameras & Image Capture: Requirements and Best Practices</u> <u>On-set Digital Imaging and Data Management: Roles & Responsibilities</u>
----------------------------	--

Herramientas para la postproducción

En este apartado se repasan los requisitos de [hardware](#) y [software](#) para la postproducción de las imágenes.

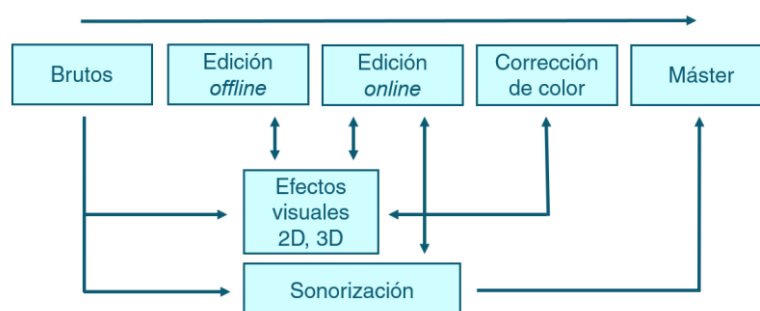
El flujo de trabajo de la postproducción de un proyecto en 4K no es, en principio, distinto al de uno en HD o en 2K. Cada proyecto requiere un procedimiento singular en función de muchos factores, entre ellos, las personas que tienen que realizar el trabajo. Lo más importante es favorecer la creatividad de los técnicos y artistas implicados.

El proceso de la postproducción audiovisual comienza con la edición *offline*, donde se toman las decisiones de montaje que afectan a la narrativa. Este trabajo se realiza con copias de baja calidad (*dalies*) que pueden circular sin dificultad por sistemas informáticos de bajo costo, dando así la oportunidad al realizador y al montador de utilizar todo el tiempo necesario para el proceso creativo.

Posteriormente se conforma el premontaje en el sistema *online*, ya con las imágenes de alta calidad. En esta etapa de la postproducción se incorporan al montaje final los efectos visuales y los elementos gráficos, es decir, se abordan las tareas de composición digital que implican la superposición de varias capas para crear una imagen final unitaria. En paralelo se realizará el trabajo de sonorización y mezclas de sonido.

Para el acabado de la parte visual de la obra se pasa por un proceso de corrección de color y masterización.

En el siguiente gráfico se presenta de forma esquemática el flujo de trabajo genérico para la postproducción de un proyecto audiovisual.



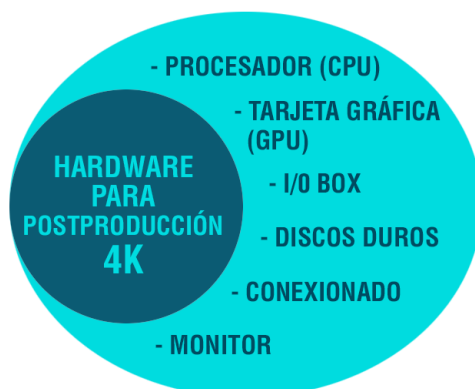
Esquema básico del flujo de trabajo de la postproducción.

‘Hardware’ para la postproducción 4K

Como hemos visto en los apartados anteriores, en 4K hay una gran diversidad de formatos y códecs: imágenes *raw*, códecs de imagen procesada a distintos tamaños, con o sin compresión; de cine digital, de televisión, de consumo, etc. Cuando se dice que una máquina de postproducción mueve 4K, ¿a qué nos estamos refiriendo? Cualquier ordenador puede mover un fichero 4K en H.264 a 4:2:0, pero no todos pueden procesar el material grabado por una cámara de cine digital. Esta es la primera pregunta que hay que plantear para definir una configuración de postproducción 4K: ¿con qué tipo de material se va a trabajar?

Dependiendo de los códecs se optará por unas características de hardware o por otras; habrá que potenciar la parte del procesador o de la tarjeta gráfica; asegurarse de que los discos, las tarjetas y las conexiones sean capaces de soportar los flujos de transferencias que generan los archivos con los que se quiere trabajar y comprobar que la monitorización del 4K responde al espacio de color y la resolución que requiere el proyecto.

Los componentes críticos del *hardware* de postproducción 4K son: [el equipo informático](#), [los procesadores](#), [las tarjetas gráficas \(GPU\)](#), [las tarjetas de reproducción y captura \(I/O Box\)](#), [los discos duros](#), [el conexionado](#) y [los monitores](#).



Componentes clave del hardware para postproducción 4K.

Equipo informático, ¿PC o Mac?

La postproducción en 4K se puede hacer con multitud de máquinas, tanto en Mac como en PC. Con un iMac Pro o con un Mac Pro se puede mover 4K con normalidad, especialmente con un Mac Pro con una configuración de gama alta.



Mac Pro. Fuente: Apple.

En cuanto al precio no hay tanta diferencia entre un PC de gama alta, que cumpla con los requisitos para 4K, y un Mac equivalente. La diferencia está fuera del equipo, por ejemplo, cuando hay que comprar un RAID (*Redundant Array of Independent Disks*) de discos duros

externos conectados por Thunderbolt para el Mac. En un PC se pueden poner los discos dentro de la caja con un considerable ahorro económico. Si se necesitan 20 TB de discos duros la diferencia es muy relevante, aunque no es tanto una cuestión de dinero como de 'escalabilidad'. Actualmente los PC aportan mucha más flexibilidad, pero realmente no se sabe cómo va a evolucionar la tecnología.



Estación de trabajo HP preparada para postproducción. Fuente: HP.

Una ventaja de Mac es que los desarrolladores de *software* tienen más facilidad para optimizar los programas para esta plataforma. En el mundo PC hay una gran oferta de procesadores y tarjetas gráficas diferentes y, por lo tanto, el esfuerzo para optimizar el *software* a las distintas configuraciones es mucho más alto. Esto explica la ventaja competitiva tradicional de Apple: las cosas funcionan bien antes y son más estables.



iMac. Fuente: Apple.

A la hora de tomar una decisión sobre una plataforma PC o Mac, otro factor a considerar es el programa de edición/postproducción con el que se va a trabajar y los códecs del material. Veamos algunos ejemplos que pueden influir en un sentido o en otro:

- Final Cut Pro es un *software* de Apple que no tienen versión para PC. Además, no soporta todos de los códecs de 4K.
- Los códecs ProRes vienen por defecto instalados en los Mac. Para codificarlos en un PC hay que pagar una licencia a Apple (solo para hacer la exportación, no para leerlos). Los

códecs de Avid DNxHR, sin embargo, se pueden instalar libremente en cualquiera de las dos plataformas.

Procesadores y tarjetas gráficas GPU

Generalizando un poco, pero en base a las pruebas realizadas, se puede decir que lo mínimo que se necesita para poder mover los códecs profesionales 4K son procesadores de 12 núcleos (*compute cores*). A partir de unos 24 núcleos, los códecs raw de mayor resolución (6 y 8K) se reproduce en tiempo real sin problemas.

[Trigital](#), empresa madrileña de soluciones técnicas para postproducción, recomienda en su página web para trabajar con DaVinci Resolve los procesadores de AMD Threadripper de 3ª generación. Otros procesadores de gama media, como AMD Ryzen serie 5000, ofrecen una buena relación calidad precio¹². De Intel los que mejor resultado están dando son los Core i9-12900K. Para los Mac, los nuevos procesadores para los Mac Chip M2 Ultra han dado un excelente resultado en rendimiento.



Procesador AMD Ryzen Threadripper PRO

Las tarjetas gráficas GPU es un elemento clave a la hora de montar un equipo que pueda trabajar en UHD- 4K. Están las tarjetas GPU de NVIDIA y de ADM (ATI). A pesar de que ADM tiene tarjetas muy buenas parece ser que NVIDIA es la tendencia con más futuro. Para maximizar el rendimiento, algunos equipos utilizan la tecnología multi-GPU que permite utilizar en paralelo varias tarjetas GPU.



Tarjeta gráfica GPU NVIDIA GeForce RTX 4090

¹² Trigital “[Recomendaciones-de-hardware-para-trabajar-con-davinci-resolve-studio](#)”



Tarjeta gráfica GPU AMD Radeon Pro W6800

En la siguiente tabla están los enlaces a las páginas comerciales de estas tarjetas:

Tarjetas gráficas GPU (<i>Graphic Processing Unit</i>)	
NVIDIA	Nvidia GeForce
	Nvidia RTX
ADM Radeon	AMD Radeon™ Pro

Sistemas de almacenamiento: RAID y discos SSD

Con el volumen de datos que se maneja en postproducción, la velocidad de los discos duros del sistema es un factor fundamental, tanto para soportar el flujo de transferencia que genera la simple reproducción de un archivo 4K como para los procesos de copiado y *render*. Hay dos tecnologías que se utilizan para alcanzar las velocidades necesarias: los discos duros configurados en RAID y los discos duros de estado sólido (SSD, *Solid-State Drive*).

Cuando se dispone de varios discos se pueden configurar para que el sistema operativo los vea como uno solo. Hay dos tipos de configuración:

- RAID. Es una estructura de discos que optimiza la velocidad de transferencia y gestiona la grabación redundante, es decir, que hace copias de seguridad. La información se escribe en cualquiera de los discos que forman el RAID.
- JBOD (*Just a Bunch Of Disks*). Es una configuración de varios discos que el sistema ve como uno solo. La información se escribirá primero en uno y después en el siguiente. La ventaja de JBOD es que, si un disco falla no se pierden todos los datos, solo los del disco afectado. Pero no ofrece los beneficios de aumento de velocidad de la configuración RAID.



Stardom SohoTank ST8-U6+ MiniSAS 12Gbit 8HDD JBOD. Fuente: Neovideo.



Disco duro Toshiba Nas N300 4TB SATA III 3.5" Fuente: Neovideo.

En una estructura de RAID hay muchas ventajas, pero la fundamental es el incremento de la **tasa de transferencia**. Para explicarlo rápidamente, aunque no es completamente exacto, la tasa de transferencia se multiplica por el número de discos que están conectados. Por ejemplo, si un disco conectado de forma independiente soporta un flujo de transferencia de 100 MB/s, con 8 discos conectados en una estructura de RAID 0 se alcanzarán 800 MB/s de tasa de transferencia¹³, por lo tanto, el aumento de velocidad es enorme. Los niveles de RAID (0, 1, 2, 3, etc.) aportan distintas configuraciones de las copias redundantes de la información para proporcionar mayor fiabilidad al sistema.



¹³ En este ejemplo hemos utilizado la unidad de medida MegaByte por segundo (MB/s) que es 8 veces más (1B=8b) que Megabit por segundo (Mbit/s). En teoría, cuando se habla de espacio de almacenamiento se utiliza los Bytes (B) y cuando se habla de tasa de transferencia se emplean los bits (b), pero en la práctica se utilizan ambas unidades de medida indistintamente.

Configuraciones RAID para 4 y 6 discos con conexión Thunderbolt. Fuente: [Pegasus](#).

Otra importante innovación que se ha implantado con fuerza es el disco de estado sólido (SSD). Los discos SSD son el presente y el futuro, puesto que multiplican la tasa de transferencia por siete o incluso por ocho en algunos casos. Por ejemplo, para mover códecs 4K *raw* comprimidos, generalizando, se necesitan unos 700 u 800 MB/s. Esto se puede conseguir con una estructura de RAID de 8 discos. Un RAID de 4 discos puede resultar pequeño, sin embargo, un solo disco de estado sólido de 700 MB/s de velocidad puede reproducir sin problemas este tipo de archivos. Aunque no todos los discos de estado sólido alcanzan estos valores, hay discos SSD más lentos, por ejemplo, limitados a 400 MB/s.



SSD interno Samsung 990 Pro 1TB. Fuente: [Samsung](#)



Discos duros de estado sólido SSD. Fuente: [SanDisk](#).

Haciendo un RAID de discos de estado sólido se alcanzan velocidades espectaculares. El problema es el precio, ya que estos discos son muy caros y tienen menos capacidad que los discos duros convencionales. Para alcanzar una capacidad de 10 o 20 TeraBytes (TB) con discos SSD, el coste se dispara.

Los discos de estado sólido se utilizan mucho en los rodajes. Las tarjetas que utilizan las cámaras son en realidad este tipo de discos. Permiten a las cámaras la tasa de transferencia que necesitan. Una cámara no necesita mucha capacidad de almacenamiento porque puede ir cambiando las tarjetas cuando se llenan. Además, los discos SSD son más estables que los discos duros convencionales porque no tienen componentes móviles, no se calientan y por lo tanto son ideales para rodaje. En postproducción es más habitual utilizar configuraciones de discos en RAID.



Tarjetas de memoria CFAST 2.0 que se pueden utilizar con la cámara Arri Alexa. Fuente: [Arri](#).

Soportes para almacenamiento y archivo

Una vez terminada la postproducción se plantea el problema de guardar el máster en un formato seguro, de alta calidad y que soporte el paso del tiempo. Esta es la última fase de la cadena de producción y un tema de gran interés para filmotecas, grandes cadenas de televisión, productoras o cualquier organización que tenga la responsabilidad de preservar el material audiovisual para el futuro. Y no solo en la industria audiovisual, sino para todos los contenidos digitales de la sociedad del conocimiento. El problema del 4K es que los archivos ocupan cuatro veces más espacio de almacenamiento. ¿Dónde se van a meter entonces todos los datos que están generando las industrias audiovisuales?

Existen distintas propuestas y distintas soluciones tecnológicas, cada una con ventajas e inconvenientes. Vamos a comentar en este apartado los sistemas de cinta LTO, la tecnología de Sony de discos ópticos Sony ODA y el almacenamiento en discos duros.

Las cintas Linear Tape-Open (LTO) es un sistema de almacenamiento económico y fiable.

Habitualmente en los rodajes de cine se hace una copia Backup LTO de todo el material de cámara por cuestiones de seguridad y por exigencia de las compañías de seguros. No obstante, para archivos y filmoteca presenta un problema por la retrocompatibilidad de los distintos formatos de cintas: los nuevos sistemas de LTO no son capaces de reproducir las cintas grabadas con los estándares anteriores y quedan obsoletos muy rápidamente. No parece idóneo para el archivo a largo plazo.



Lector grabador HP Ultrium LTO-9. Fuente: HP.

Sony está intentando establecer su sistema Optical Disc Archive (ODA) como estándar. Ha promovido para esta tecnología una norma SMPTE y hay varios fabricantes adscritos a ella. El hecho de que sea un estándar proporciona cierta estabilidad. El precio es más alto que el de las cintas LTO y similar al almacenamiento en discos duros. En la información comercial de Sony

hacen una “estimación de vida útil del archivo de más de 50 años para todos los ficheros de datos”.



Equipo y disco Sony de Optical Disc Archive. Fuente: Sony.

El almacenamiento en disco duro es muy inestable. Los discos si no se mueven, se estropean. No se pueden dejar almacenados indefinidamente, hay que encenderlos regularmente. Por otra parte, los discos duros están muy condicionados por los conectores. Ahora, por ejemplo, hay discos conectados por Thunderbolt, pero ¿cuántos años va a durar este estándar de conector?

Libnova es una empresa española que ofrece un sistema de almacenamiento masivo a largo plazo en discos duros. El producto se llama Libdata, es completamente escalable y utilizan tecnología orientada a asegurar la preservación.

Para grandes archivos, cambiar de sistema de almacenamiento, es decir, copiarlo todo de un soporte a otro, es un enorme problema. Por eso es necesario encontrar un sistema que sea un estándar. Hasta ahora la preservación del patrimonio audiovisual se ha servido de la película fotoquímica, pero aún está por determinar cuál será el equivalente para la era de la ultra alta definición.

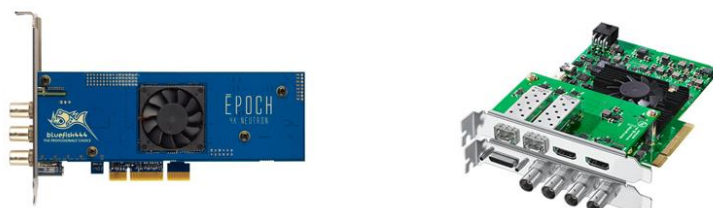


Sistema de almacenamiento masivo en discos duros de Libdata. Fuente: [Libnova](#).

Tarjetas de captura y reproducción: 'I/O Box'

Una **I/O Box (input/output Box)** o tarjeta de captura y reproducción, es un elemento de hardware con conexiones para entrada y salida de vídeo y audio con calidad profesional. Para vídeo, las entradas y salidas más fiables son las SDI (*Serial Digital Interface*).

Puede ser una tarjeta interna o un dispositivo externo. Los ordenadores no vienen con salidas de vídeo SDI porque en el mundo de la informática no se necesitan, pero para trabajar con vídeo profesional es necesario incorporar una tarjeta de este tipo.



Tarjetas Epoch 4K Neutron de Bluefish 4:4:4 (a la izquierda) y DeckLink 4K Extreme 12G de Blackmagic (a la derecha). Fuente: [Bluefish 444](#) y [Blackmagic](#).

Para 4K, las tarjetas más utilizadas son las de AJA, las de Bluefish y las de Blackmagic. Las tres son compatibles con la mayoría de los programas profesionales de postproducción de vídeo y corrección de color.



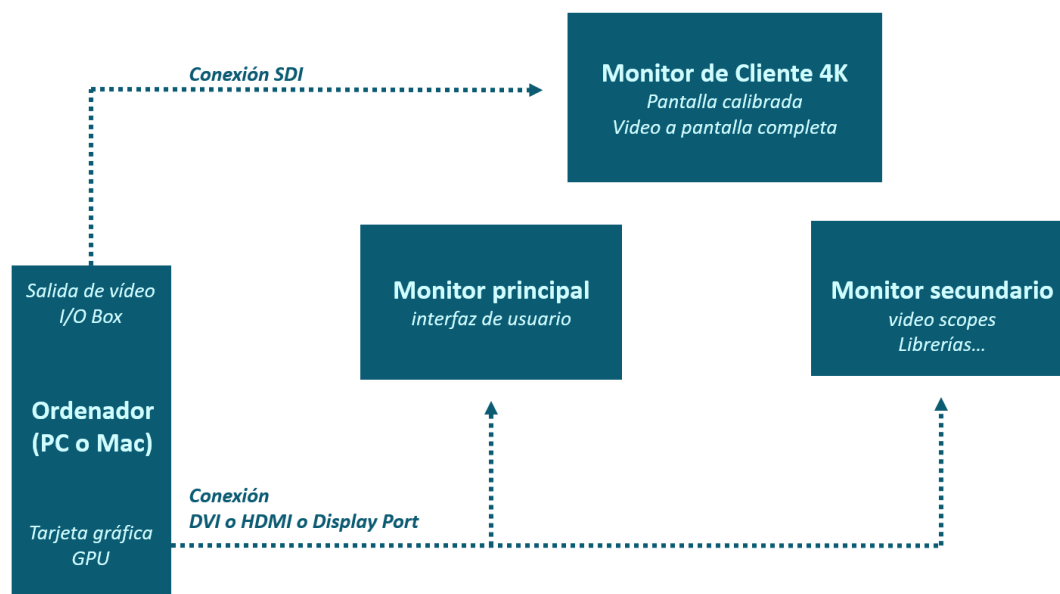
Tarjeta AJA Mobile I/o 4K Plus. Fuente: [Aja](#).

En la siguiente tabla están los vínculos a las páginas comerciales de estos fabricantes de tarjetas de captura y reproducción con capacidad para gestionar una salida de monitor 4K.

Tarjetas de captura y reproducción	
AJA	Io 4K Plus
Bluefish	Bluefish 444
Blackmagic	DeckLink

Tarjetas de captura y reproducción (I/O Box).

En un sistema de postproducción o corrección de color tenemos que diferenciar las salidas de la tarjeta gráfica (que proporcionan la señal para los monitores de la interfaz de usuario) de la salida de vídeo de la *I/O Box*, en la cual vemos la calidad final de nuestro trabajo, es decir, la salida de vídeo que enviamos al 'monitor de cliente'.



Conexión de los monitores de la interfaz de usuario y el monitor de cliente.

En el monitor de cliente se ve la imagen con toda su resolución y es el monitor de referencia que está calibrado. Se conecta a la *I/O Box* que proporciona una salida de vídeo a pantalla completa y muestra el resultado final tal y como lo verá el espectador.

En las *I/O Box* hay que tener en cuenta tres cuestiones:

- Tamaño de fotograma (resolución espacial)
- Frecuencia (resolución temporal)
- Tipo de conexionado
- Muestreo y profundidad de color

En cuanto al tamaño del fotograma tenemos que comprobar si la salida de la *I/O Box* nos ofrece el 4K de DCI o el de la televisión Ultra HD. Hay muchos conectores como el HDMI que solo llegan al 4K de Ultra HD (3.840 x 2.160). Con lo cual no se podrá monitorizar 4K DCI (4.096 x 2.160).

Otro aspecto fundamental es el número de fotogramas por segundo que puedan reproducir. En 4K se trabaja con resoluciones temporales superiores, como por ejemplo 48 fps, 50 fps o 60 fps. Estas velocidades no las soportan todas las tarjetas ni todos los sistemas de conexionado. Por ejemplo, una tarjeta puede tener una salida por SDI que llegue a 4K DCI hasta 25 fps, pero no podrá mostrar un material a 50 o 60 fps.

En relación con el conexionado, estas tarjetas ofrecen salidas SDI, DVI, HDMI, Display Port o Thunderbolt. Cada una de estas conexiones tendrá unas características y unos límites de tasa de transferencia que habrá que analizar detenidamente. En el apartado de [conexionado](#) se encuentran las tablas que detallan la capacidad de cada conector.

Para configurar un sistema de postproducción preparado para 4K es muy importante asegurarse de que el conexionado de salida de la *I/O Box* y el de la entrada del monitor utilizan la misma norma y son plenamente compatibles. También es necesario verificar la profundidad de color (8, 10, 12 bits), el tipo de señal (RGB o componentes YUV/ Y, Pb, Pr) y si se emplea el submuestreo de color (4:4:4; 4:2:2; 4:2:0).



Sala de color X-Post de Drago con monitorización y proyección 4K..

Conexión

El conexionado es un elemento a considerar detenidamente para que no se convierta en un cuello de botella. Que los conectores no sean los adecuados afectará al tiempo que se tarda en hacer una copia o un *render*, que en 4K es cuatro veces más que en HD. Pero también para una simple reproducción de un archivo *raw* en 4K se necesita alcanzar una tasa de transferencia muy alta y los conectores tienen que ser capaces de soportarla.

Esto hay que unirlo a lo que ya se ha comentado de la velocidad de los discos. Un único disco duro conectado por Thunderbolt seguirá siendo lento a pesar de utilizar un conexionado de alta velocidad. En este caso el límite lo marca la velocidad del disco. En el sentido contrario, un RAID-0 de ocho discos, si está conectado por USB 2.0 será lento porque el conexionado no soporta la velocidad que puede alcanzar el sistema de almacenamiento.

Los conectores para datos más rápidos que soportan los flujos de transferencia del 4K son Thunderbolt, SAS, SATA, USB 3 y USB C.



Conectores Thunderbolt, SAS, SATA, USB 3 y USB C.

En la siguiente tabla se pueden ver las distintas versiones de estos conectores y la velocidad máxima de transferencia que son capaces de alcanzar.

Conectores de datos			
	Versión	Velocidad máxima	Vínculo a Wikipedia
USB	3.0	4,8 Gbit/s (0,62 GB/s)	Universal Serial Bus (USB)
	3.1	10 Gbit/s (1,25 GB/s)	
	3.2	20 Gbits/s (2.5 GB/s)	
	4.0	40 Gbits/s (5 GB/s)	
	4.2	80 Gbits/s (10 GB/s)	
SAS	1	3 Gbit/s (0,37 GB/s)	Serial attached SCSI (SAS)
	2	6 Gbit/s (0,75 GB/s)	
	3	12 Gbit/s (1,5 GB/s)	
	4	22,5 Gbit/s (2.8 GB/s)	
Thunderbolt	1	10 Gbit/s (1,25 GB/s)	Thunderbolt (interface)
	2	20 Gbit/s (2,5 GB/s)	
	3 y 4	40 Gbit/s (5 GB/s)	
SATA	I	1,5 Gbit/s (0,150 GB/s)	Serial ATA (SATA)
	II	3 Gbit/s (0,300 GB/s)	
	III	6 Gbit/s (0,600 GB/s)	

Los monitores de la interfaz de usuario se conectarán a la tarjeta gráfica principal del sistema. El monitor de cliente puede ir conectado también a esa tarjeta (la GPU) o bien a la tarjeta de reproducción y captura (la *I/O Box*). Dependiendo de los programas utilizarán las salidas de una u otra. Por ejemplo, Assimilate Scratch utiliza las salidas de la tarjeta gráfica y DaVinci Resolve las de la *I/O Box*.

Los conectores para monitorización que soportan 4K son: SDI, HDMI y Display Port. Cada uno de ellos tiene distintas versiones que se diferencian en su tasa de transferencia y por lo tanto en el tipo de señal que pueden transportar.



Conector HDMI, Display Port y BNC (para SDI).

Conectores para monitores en 4K

	Versión	Tasa de transferencia en Gbit/s	Ejemplo de formatos de vídeo
HDMI	1.4	8,16 Gbit/s	4.096 × 2.160 (24 fps) 3.840 × 2.160 (30 fps)
	2.0	18 Gbit/s	4.096 × 2.160 (50/60)
Display Port	1.2	17,28 Gbit/s	3.840 × 2.160 (60 fps)
	1.3	32,4 Gbit/s	7.680 × 4.320 (60 fps) 4:2:0 4K; 60 fps; 30-bit; 4:4:4
SDI	3G SDI	3 Gbit/s	1.920 × 1.080
	6G Ultra HD-SDI	6 Gbit/s	3.840 × 2.160 (30 fps)
	12G Ultra HD-SDI	12 Gbit/s	3.840 × 2.160 (60 fps)

Para el conexionado por SDI del 4K se utiliza una tecnología que divide la señal en dos o cuatro cables. De esta forma se consigue alcanzar los flujos de transferencia que requiere la producción profesional en 4K. A través de un 12G-SDI una señal puede viajar por un solo cable 4K, pero si el conexionado es 6G-SDI necesitaremos 2 cables (*dual link*) y si es 3G-SDI serán necesarios 4 cables (*quad link*).

En la siguiente imagen se puede ver el módulo de salida SDI de una cámara Red que utiliza 4 cables de 3G-SDI (*quad link*).



Módulo de salida SDI para cámaras Red a través de cuatro cables BNC de 3G-SDI. Fuente: Red.

Monitores

En monitorización 4K podemos diferenciar las pantallas de ordenador, los monitores profesionales *broadcast*, los televisores y los proyectores. La oferta es todavía limitada y no siempre se encuentran las prestaciones profesionales que cabría esperar a un precio asequible.

Los monitores de vídeo profesionales tienen un coste muy elevado y los televisores del mercado de consumo no cumplen las expectativas: entradas SDI, capacidad de seleccionar distintos espacios de color, opciones de calibrado, etc.

En la monitorización 4K entran en juego cuatro factores fundamentales:

- Resolución. El monitor tiene que ser capaz de presentar de forma fiable todos los píxeles del material original con las distintas relaciones de aspecto del 4K. ([Resolución espacial](#)).
- Espacios de color. Tiene que ser capaz de trabajar en los distintos espacios de color normalizados para la producción audiovisual: BT-709, DCI-P3, BT-2020. Con las limitaciones que tiene y tendrá la implementación completa de los espacios de color BT-2020 ([Gamut de color](#)).
- Rango dinámico. Los monitores de masterización tienen que servir de referencia para los nuevos estándares de HDR. ([Rango dinámico](#)).
- Tamaño de representación, es decir, tamaño de la pantalla. Para la corrección de color se utilizan monitores cuando se trabaja para televisión y proyectores cuando se trabaja para cine. De esta forma se crean unas condiciones de visionado similares a las que se encontrará el usuario final.

Los monitores de ordenador también participan en la carrera del aumento de la resolución y el tamaño de las pantallas. Un monitor de ordenador de 4K puede resultar incómodo para trabajar si las interfaces de los programas y los sistemas operativos no están todavía bien adaptados a esta nueva resolución. Por otra parte, el ratón tiene que tener una configuración muy rápida y sensible para poder desplazarse por toda la superficie de la pantalla. La ventaja es que el espacio disponible para la interfaz es muy amplio y resulta muy cómodo para colocar todas las ventanas y menús disponibles. A un Mac Pro o a un PC se les pueden conectar cualquier monitor 4K.



Monitor de ordenador 4K de LG. Fuente: LG.

Un monitor profesional de vídeo, o un monitor *broadcast*, es un equipo que tiene entrada de vídeo SDI y que permite seleccionar el espacio de color y la curva de gamma con la que se quiere trabajar. Todavía hay muy poca oferta para este tipo de monitores y son muy caros.

Canon tiene una gama de monitores profesionales grado 1 que soportan el gamut de color BT-2020 casi completo, pero su precio es muy elevado. Sony tiene el modelo BVMHX-310, que, aunque no llegue a cubrir entero el gamut BT-2020, es un monitor de altísima calidad.



Monitor profesional 4K Canon DP-V3010. Fuente: [Canon](#).



Gama de monitores profesionales OLED de SONY. Trimaster EL 4K

Canon también tiene un monitor 4K portátil, DP-V2410, que se puede adaptar a cualquier espacio de color y cargar las LUT convirtiéndolo en una herramienta fundamental para el rodaje ya que, con el modo HDR (400 cd/m²), permite ver todo el rango dinámico de las imágenes que se están produciendo.



Monitor profesional portátil 24" de Canon DP-V2410. Fuente: Canon.

La conocida marca de monitores profesionales Flanders Scientific también ofrece modelos 4K HDR en la serie XM.



Monitores profesionales flandersscientific

Para los espacios de color DCI-P3 y BT-709 y los nuevos estándares HDR hay monitores de vídeo profesionales a precios más asequibles en Sony, TV Logic, NEC, Eizo, BenQ, HP y otros fabricantes.

En la siguiente tabla hemos incluido vínculos a las páginas comerciales de estas primeras referencias.

Monitores profesionales de vídeo		
Canon	4K UHD reference Displays	Canon DPV
Sony	Trimaster 4K	sony.es
Flanders Scientific	Serie XM	flandersscientific
Eizo	ColorEdge	eizo.com
BenQ	BL series	benq color management
HP	Dream Color	hp.com
NEC	SpectraView	nec display solution
TV Logic	Monitor Series	TV Logic

También se pueden descargar en [709 MediaRoom](#) una tabla actualizada de monitores HDR que está en la sección “Artículos Especializados”.

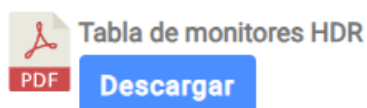


Tabla de monitores de las descargas gratuitas de 709 MediaRoom

Los televisores 4K que se están comercializando en el mercado de consumo masivo no están pensados para la monitorización profesional. Lo mismo ocurre con los proyectores de cine de la gama *prosumer*. No obstante, son la única opción posible para presupuestos un poco más ajustados.



Proyector multimedia 4K Canon XEED 4K500ST. Fuente: Canon.



Proyector 4K Sony VPL-VW500ES para home cinema. Fuente: Sony.

‘Software’ para la postproducción 4K

Para el desarrollo de esta sección hemos considerado las siguientes categorías de software:

- [Edición de vídeo](#)
- [Composición y efectos visuales \(VFX\)](#)
- [Programas de generación de gráficos 3D \(CGI\)](#)
- [Corrección de color y procesos finales](#)

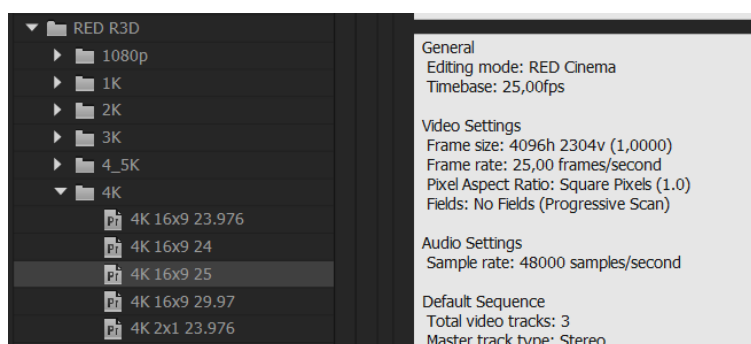
Casi todos los programas profesionales de edición y postproducción pueden trabajar en 4K. Es necesario comprobar que los códecs están soportados por cada uno de los sistemas, pero, en principio, con un *hardware* adecuado, se puede crear y editar un proyecto en 4K.

Para conseguirlo, los programas juegan con dos estrategias que se pueden combinar entre sí:

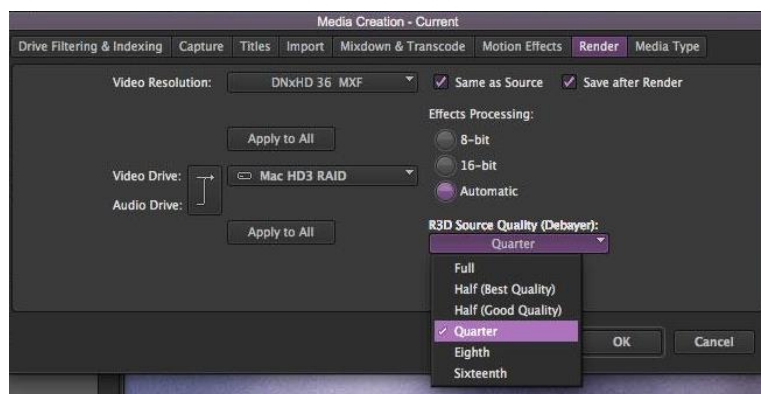
- Bajar la calidad de la monitorización. Si el monitor que está conectado al sistema es HD, no es preciso mostrar toda la resolución del material. No se verá el 4K pero el equipo irá mucho más ligero.
- Trabajar con un *proxy*, es decir, hacer una transcodificación de calidad más baja para los ‘previos’. La mayoría de los programas hacen un *proxy* en HD.

Con estos dos parámetros unidos, en montaje estaremos trabajando con un *proxy* HD y viendo el resultado en un monitor, también en HD. Solamente se utiliza la potencia del 4K en el momento de hacer el *render* para la codificación del máster.

De esta forma, es normal que los programas de edición de vídeo no tengan dificultades para soportar una línea de tiempo 4K porque en realidad están operando en una calidad más baja. Esto ocurre no solamente con los programas para la edición *offline* sino también en *online* y corrección de color.



Creación de una nueva secuencia en 4K con los códecs de Red en Adobe Premiere.



Ajustes de Avid para generar proxy a partir de material 4K. Fuente: Digitalfilms.

Cuando se empiezan a multiplicar el número de capas y efectos en un plano, los programas de composición o corrección de color no pueden mostrarlo todo en tiempo real. Es necesario codificar 'previos' para poder ver el resultado. Los programas profesionales permiten configurar la calidad de esos 'previos', o 'proxys de resolución'. Se utilizan como referencia empleando distintos parámetros de calidad y tamaño para que sean fiables desde el punto de vista del color o de la resolución. Cuando sea necesario, se harán los *renders* en alta calidad para comprobar los resultados reales.

Cuando el sistema tiene una tarjeta de salida 4K para el monitor de cliente y se hace una monitorización de referencia con toda la calidad, aparecen muchas dificultades: los altos flujos de transferencia que se generan son difíciles de manejar.

Con estas estrategias se consigue que la postproducción en 4K no sea tan cara. Aunque no sean procedimientos ideales, hay muchas maneras para permitir que, con un equipo sencillo y una inversión razonable, se pueda abordar la postproducción de un proyecto 4K.

Programas de edición de vídeo

En un programa de edición se puede elegir la opción de trabajar con el material en alta calidad o bien con *proxys*, es decir, con copias ligeras del material con una calidad reducida.

Los sistemas de edición más extendidos son Avid, DaVinci Resolve, Premiere y Final Cut Pro



Logotipos de Avid, DaVinci Resolve, Premiere y Final Cut Pro

Avid tiene mucha implantación en el sector profesional. Su fuerte se encuentra en los sistemas de almacenamiento y los códecs de intermediación más que en la interfaz de usuario, que es menos intuitiva y fácil de usar que la de sus competidores. Sin embargo, siempre ha sido y sigue siendo el sistema más fiable. Es el programa de edición que se utiliza mayoritariamente para el

montaje de cine y series de televisión en todo el mundo. Una de sus fortalezas está en las herramientas que ofrece para el trabajo colaborativo que facilitan que varios montadores estén trabajando en el mismo proyecto simultáneamente.



Sistema de edición Avid. Fuente: Avid.

DaVinci Resolve se ha implantado con fuerza a pesar de que ha llegado hace pocos años al escenario de los sistemas de edición de vídeo profesional. Tradicionalmente era un sistema de primer nivel en corrección de color, pero ha desarrollado un sistema de edición muy robusto que ofrece tanto en su opción gratuita como la de pago. Es una alternativa perfectamente válida a nivel profesional con una interfaz de usuario muy intuitiva y fácil de usar.



Interfaz del editor DaVinci Resolve. Fuente: Blackmagic Desing.

Premiere tiene una interfaz de usuario muy buena, con mucha implantación en el mercado y está integrada en un paquete de aplicaciones que cubre todas las tareas de la postproducción: gráfica, sonido, composición, etc. Es un sistema de edición muy popular. No obstante, la política comercial de alquiler anual de la licencia a un precio bastante elevado resta atractivo a este programa.



Interfaz de Premiere Pro. Fuente: Adobe.

Final Cut Pro es de Apple y utiliza los códecs ProRes. Esta es su ventaja competitiva, aunque los DNxHR de Avid son tan buenos o mejores que los Apple ProRes. Una limitación de Final Cut Pro es que no se puede instalar en un PC. Este es uno de los motivos que ha limitado su uso en los entornos profesionales de la producción audiovisual en los últimos años.



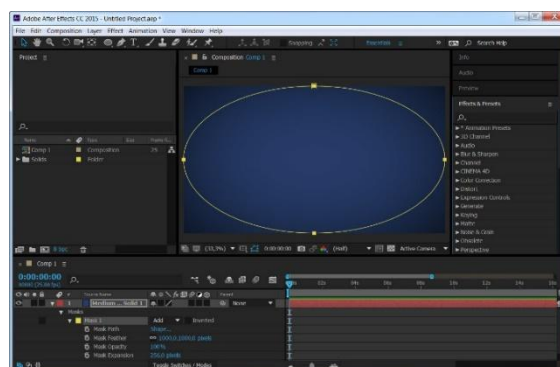
Interfaz de Final Cut Pro. Fuente: Apple.

Programas de composición y efectos visuales (VFX)

Con los programas de composición y de efectos visuales, como norma general, no se trabaja en calidad *offline* sino que se utiliza el material con la máxima calidad posible.

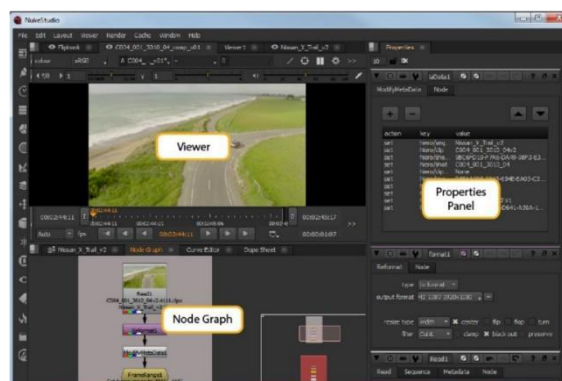
Para presentar los ‘previos’ en el monitor de cliente, los programas de composición suelen hacer una caché en RAM en lugar de hacer un archivo de media para los ‘previos’ con un códec de intermediación, es decir, cargan en RAM los fotogramas de la secuencia y se lanza desde allí la reproducción. De esta forma siempre se puede monitorizar el material con toda su calidad. La limitación de esta técnica es que no se puede reproducir de forma continuada toda la línea de tiempo, pero para secuencias de pocos segundos funciona perfectamente. Es la misma dinámica que los *renders* de ‘previos’ en los programas de 3D que veremos más adelante.

After Effects, de Adobe, es un software de composición por capas en línea de tiempo y está muy extendido para animaciones de *motion graphics* incluso se pueden hacer trabajos de composición muy complejos y en alta calidad. Tiene como punto fuerte la facilidad de vinculación con el sistema de edición Premiere y los demás programas del paquete de Adobe.



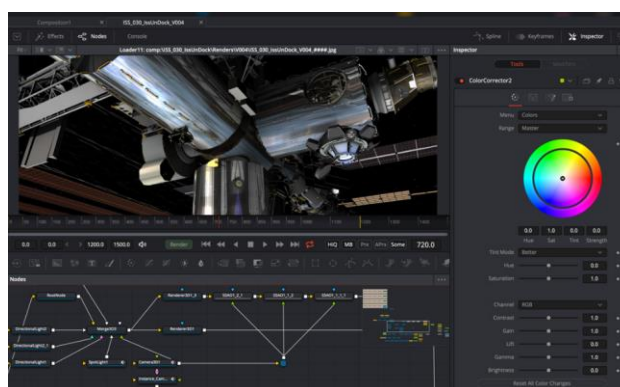
After Effects. Fuente: Adobe.

Nuke, de The Foundry, es el estándar en composición por nodos y efectos visuales para cine. Siendo reduccionistas, After Effects estaría más vinculado al mundo de la televisión y Nuke al del cine.



Nuke. Fuente: The Foundry.

Fusion, de Blackmagic, es otro programa de composición nodal que entra en competencia con Nuke. Tiene una versión independiente (*stand alone*) y una versión integrada en el sistema DaVinci Resolve. La versión *stand alone* tiene un precio muy competitivo y la versión integrada en DaVinci es gratuita y suficiente para muchas producciones. Por lo tanto, es probable que se extienda rápidamente su uso.



Fusion. Fuente: Blackmagic.

Flame, de Autodesk, es también un sistema de composición nodal muy vinculado al mundo publicitario.



Flame. Fuente: Autodesk.

Programas de 3D (CGI)

La creación de imágenes con programas de 3D (CGI, *Computer Graphic Imagery*) es un mundo aparte. Para este tipo de programas, la resolución 4K es un factor que se aplica en el momento de hacer el *render*, es decir, la exportación a vídeo. A mayor resolución espacial más tiempo de *render* para generar el material.

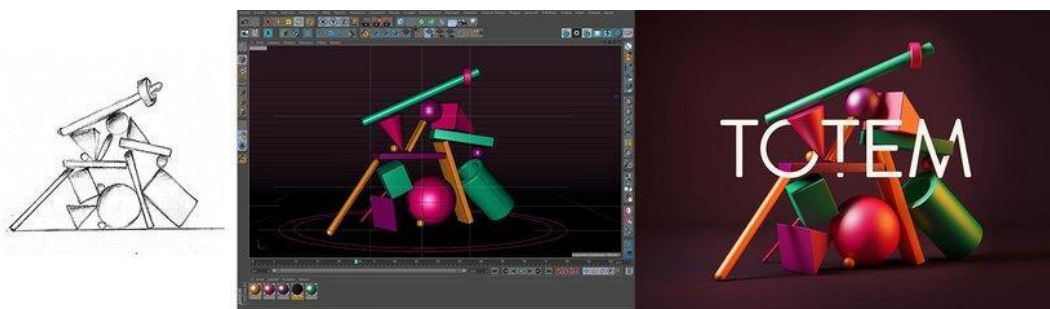
Los flujos de trabajo para las imágenes 3D han evolucionado para evitar hacer de una sola vez todos los procesos de *render* en favor de lo que se ha llamado *multi-pass render*. Con esta técnica los sistemas de 3D generan archivos separados de las distintas capas que conforman un objeto: formas, texturas, luces, sombras, reflexiones, máscaras, etc. La integración final de todas estas capas se hace en los sistemas de composición. Este procedimiento permite ajustar minuciosamente la integración de los elementos 3D en el sistema de edición *online* o en el de corrección de color.

Los programas de Autodesk, Maya, 3D Max o Flame, están muy extendidos para cine y televisión. Maya es el programa más utilizado para efectos visuales cinematográficos y 3D Max está dirigido a un grupo más amplio de usuarios.



VFX de Juego de Tronos realizados con Maya. Fuente: Autodesk

Cinema 4D, de Maxon, se ha posicionado en los últimos años para *motion graphics* y televisión.



Cinema 4D. Fuente: Zigor.

Procesos finales y corrección de color

Los programas de corrección de color y de procesos finales (*finishing*) son sistemas de edición *online* que trabajan con el códec nativo de cámara o el material *raw* para poder extraer los máximos niveles de calidad. Recibirán también para su integración final los materiales que se hayan generado en el departamento de efectos visuales y gráficos 3D. Si se utilizan códec de intermediación se elegirán los más altos de los disponibles.

Por lo tanto, también se darán situaciones en las que no se pueda reproducir el material en tiempo real, precisamente por el gran tamaño de los formatos que se utilizan. En estos casos se utilizará la misma estrategia que en los sistemas de edición *offline*: se realizarán, cuando sea necesario, las transcodificaciones de referencia para 'previos' en una calidad inferior que permitan una reproducción fluida de la continuidad de las secuencias. La monitorización en calidad plena se hará con fragmentos cortos.

Para conseguir mayor fluidez en el sistema es habitual trabajar en 4K, pero monitorizando en HD. La monitorización es uno de los cuellos de botella del 4K ya que los monitores profesionales 4K son todavía demasiado caros y los televisores 4K que venden para el mercado doméstico no son fiables. Es preferible un buen monitor profesional HD bien calibrado que un televisor o monitor de ordenador 4K.

DaVinci Resolve, de Blackmagic, es uno de los programas para corrección de color más utilizados. Están centrando sus esfuerzos en mejorar las herramientas de edición y composición para acercarse al modelo de los programas de procesos finales (*finishing*), a pesar de que su posicionamiento inicial es la corrección de color y la masterización. También se utiliza cada vez más para la corrección de color en el set de grabación ya que soporta prácticamente todos los códec de cámara. Uno de los motivos de su fuerte implantación es que ofrecen una versión gratuita, que tiene casi todas las funcionalidades de la versión de pago. También dispone de herramientas de composición y efectos visuales con la pestaña Fusion y de edición de sonido con Fairlight.



Estación de trabajo de corrección de color con DaVinci Resolve. Fuente. Blackmagic

En la zona de [descargas gratuitas del portal 709 MediaRoom](#) se pueden descargar una colección de Power Grades de Davinci Resolve.



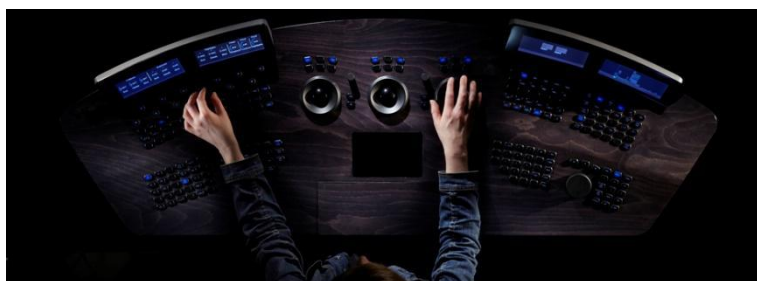
Descargas gratuitas de ejemplos de etalonaje con DaVinci Resolve en la página de 709 Media Room

SGO es una empresa española que ha conseguido posicionarse en el mercado mundial con **Mistika**. La lista de grandes producciones de Hollywood que han utilizado este sistema es impresionante. Uno de sus puntos fuertes, que ha ayudado a su implantación, es ser la mejor herramienta del mundo para postproducción en 3D estereoscópico. Esta ventaja competitiva ha hecho que muchas producciones muy importantes hayan elegido Mistika como programa de edición *online*, corrección de color y masterización. Actualmente es posible emplear Mistika desde plataforma Linux (Mistika Ultima) o Windows/Mac OS (Mistika Boutique)



Sistema de postproducción Mistika. Fuente: SGO.

Baselight, por su parte, es una de las mejores herramientas de corrección de color/etalonaje, con un potente y complejo sistema de gestión de color. Cuenta con estación independiente de distintos niveles y *plugins* para Avid, Final Cut Pro, Nuke y Flame



Consola para corrección de color con Baselight. Fuente: Filmlight.



Sistema Baselight de corrección de color de cine en 4K en Forestt Studios, Beijing. Fuente: [Filmlight](#).

Para la masterización de cine y la producción de copias de distribución, la herramienta más implantada es **Transcoder** de Colorfront un equipo muy potente y rápido en los procesos de transcodificación, que incorpora funcionalidades de edición, composición y corrección de color. Clipster, de Rohde & Schwarz también cubre estas funcionalidades.



Transkoder en PC y Mac. Fuente: colorfront.com

Referencias sobre flujos de trabajo de la postproducción

Siguiendo con las referencias al portal de Netflix Partner Help Center hemos seleccionado los documentos sobre flujos de trabajo de la postproducción:

	<u>Post Production Branded Delivery Specifications</u>
	<u>VFX Best Practices</u>
Postproducción	<u>Production Assets: Data Management</u>
	<u>Dailies: Best Practices</u>

Sonido para audiovisual

El sonido es una pieza fundamental para la mejorar de la experiencia de usuario ante los contenidos audiovisuales. [Sergio Márquez](#), de [Nómada Media](#), ha compartido con nosotros sus conocimientos y nos ha ayudado a plasmar en esta sección las claves para el registro, postproducción y difusión del sonido para cine y el vídeo de ultra alta definición.



Vamos a comenzar describiendo los parámetros de calidad del sonido digital: [frecuencia de muestreo](#) (*Sample Rate*) y [profundidad de bits](#) (*Bit Depth*). A continuación, abordamos una cuestión fundamental: [la sonoridad](#) (*loudness*) que nos acerca a conceptos como el rango dinámico del sonido y la compresión dinámica.

Una vez expuestas estas bases teóricas repasaremos los distintos [códecs para sonido envolvente](#) que se están utilizando o desarrollando para el cine 4K y el vídeo de ultra alta definición. Lo hemos organizado en cinco apartados:

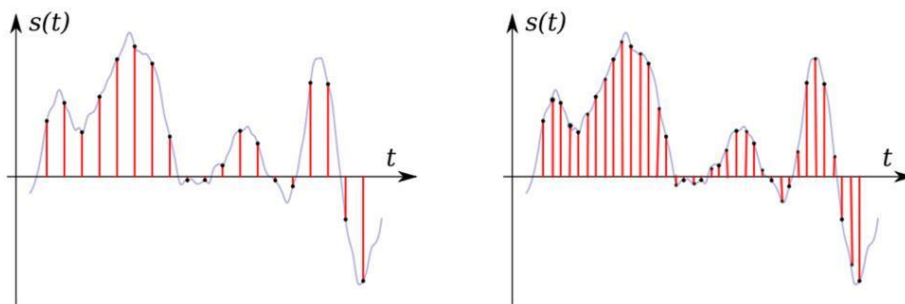
- [Los inicios del audio digital para cine](#)
- [Sonido inmersivo, sonido 3D o sonido basado en objetos](#)
- [Sonido para salas de exhibición de cine](#)
- [Códecs Sonido para televisión en UHD y Blu-ray](#)
- [Códecs de sonido para difusión por internet](#)

Parámetros técnicos de la calidad del sonido

Frecuencia de muestreo (*Sample Rate*)

Los dos parámetros técnicos que definen la calidad de una señal digital de sonido son la frecuencia de muestreo y la profundidad de bits.

La frecuencia de muestreo (*Sample Rate*) es el número de muestras que se toman por segundo para generar la señal digital. Se expresa con un valor de ciclos por segundo en kilohercios (kHz).



Representación de dos valores distintos de frecuencia de muestreo. El eje horizontal representa el tiempo y el vertical el valor de la señal de audio. Fuente: Progulator

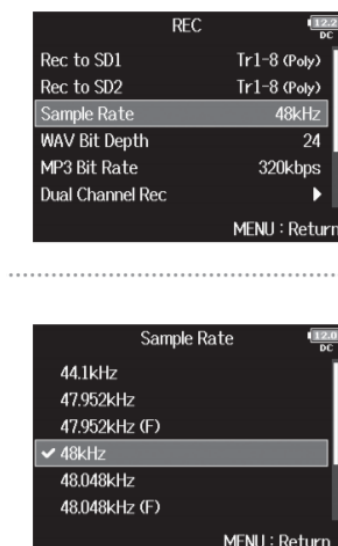
La frecuencia de muestreo que se utiliza para registrar y procesar el sonido viene determinada por la capacidad sensorial de los seres humanos: se considera que podemos escuchar los sonidos que se sitúan entre 20 y 20.000 Hz. Según el teorema de Nyquist, es necesario que la frecuencia de muestreo sea superior al doble de la máxima frecuencia a muestrear. Por lo tanto, la frecuencia de muestreo ha de ser como mínimo de 40 KHz.

Los valores de frecuencia de muestreo que se utilizan habitualmente para sonido profesional son las siguientes:

Frecuencia de muestreo	
Audio CD	44,1 kHz
Broadcast / DVD	48 kHz
Blu-ray	192- 96 kHz

En producción musical para CD se ha utilizado tradicionalmente 44,1 kHz por la limitación de la capacidad de almacenamiento del soporte. Pero en producción audiovisual se considera insuficiente este valor de frecuencia de muestreo.

El estándar en producción audiovisual es 48 kHz. Las cámaras y los grabadores, desde la gama usuario hasta el nivel más profesional, utilizan esta frecuencia de muestreo. Es también el estándar para la difusión televisiva (*broadcast*) y para los discos DVD o Blu-ray. Igualmente, en captación de sonido directo, lo habitual es utilizar 48 kHz.



Menú de selección de la frecuencia de muestro de un grabador portátil de audio: Fuente: [Zoom](#)

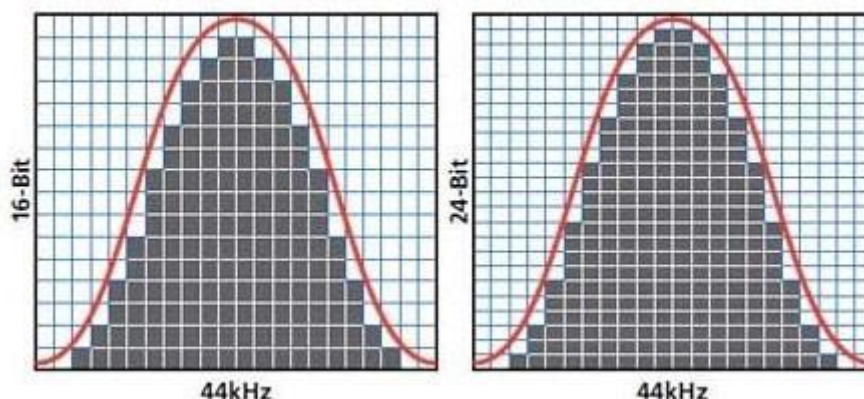
En los estudios grabación y postproducción para audiovisual y cine de alta calidad, la tendencia es trabajar a 96 kHz. Aunque el material de sonido directo esté grabado a 48 kHz, el técnico hace la postproducción y la mezcla (reverbs, delays...) a 96 kHz. Este sobremuestreo aporta una serie de ventajas (mayor capacidad de alteración de un sonido original etc.) y permite dejar hasta el último momento la máxima calidad posible.

También en captación es cada vez más frecuente la grabación a 96 KHz, en tanto que los **armónicos** (múltiplos enteros que acompañan a cualquier frecuencia) son muy importantes para percibir con mayor naturalidad un sonido. Sobre todo, es fundamental el primer armónico (x2). Por ejemplo, cuando un violín emite una nota base de 15 kHz, su primer armónico es 30 kHz, y por lo tanto necesitamos 60 KHz de frecuencia de muestreo para poder capturarlo y reproducirlo. Por eso tiene sentido trabajar en un sistema completo de 96 KHz.

Las frecuencias de muestreo superiores, como 192 kHz, se utilizan en niveles 'audiófilos', en colecciones o sellos elitistas, como por ejemplo algunas grabaciones de música clásica de Deutsche Grammophon o en Jazz, las producciones de Chesky Records. Estas producciones intentan alcanzar la máxima calidad de sonido posible. Pero a nivel perceptivo, la mayoría de las personas no llegan a escuchar esta diferencia. En teoría por lo menos, una frecuencia de muestro de 48 kHz, es suficiente para registrar eficazmente la capacidad auditiva del ser humano.

Profundidad de bits (*Bit Depth*)

La profundidad de bits (*Bit Depth* o cuantificación) es el número de bits que se utilizan para registrar cada una de las muestras. Cuantos más bits se utilicen, más información queda registrada y el archivo resultante ocupará más espacio en el soporte de la grabación. Por lo tanto, tiene que ver con la precisión de la muestra de audio que se cuantifica y con cuanta información se define.



Representación de dos valores distintos de profundidad: 16 y 24 bits. El eje horizontal representa el tiempo (frecuencia de muestreo 44 KHz) y el vertical el valor de la señal de audio. Fuente: Progenerator

Los valores que se utilizan habitualmente en audio profesional son los siguientes:

Profundidad de bits (cuantificación)		
	Audio CD	16 bits
	Broadcast / DVD	16 bits
	Bluray / grabadoras profesionales	24 bits
	Postproducción máxima calidad	32 bit float

En captación de sonido directo casi todo se hace en 24 bits, aunque queda una herencia, todavía fuerte, de 16 bits. Los equipos ya están preparados desde hace años para 24 bits y pueden grabar sin problemas a 32 bits.

La profundidad de bits está íntimamente relacionada con **el rango dinámico de audio**. Es decir, con la capacidad de registrar con calidad los sonidos más leves y los de nivel más alto. La percepción humana del sonido se estima en 120 decibelios de rango dinámico y con 24 bits es más que suficiente para registrar estos valores.

En postproducción tanto las tarjetas de sonido como los *software* DAW (Digital Audio Workstation: Pro Tools, Nuendo, DaVinci Fairlight...) hace tiempo que procesan el audio a 32 bits flotantes. Es decir, desde el momento que metemos p.ej en DaVinci un fichero de sonido y le bajamos o subimos un poco el volumen o le añadimos un 'fade out' aunque el audio sea de 16 bits esta nueva operación ya lo procesa a 32 internamente.

La representación en coma flotante (en inglés *floating point*) indica que para los cálculos que realiza el equipo, se van a utilizar tantos decimales como sea necesario para garantizar la preservación de la calidad original. En los equipos de postproducción de alta calidad se puede elegir esta opción.

Flujo de transferencia (*Bit Rate*)

Estas dos variables, frecuencia de muestreo y profundidad de bits, dan como resultado un flujo de transferencia (*BitRate*) que se mide en bits por segundo (b/s, Kb/s o Mb/s).

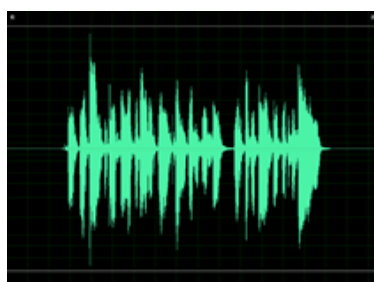
Los valores de flujo de transferencia con los que se suele trabajar en las distintas fases de la producción y difusión de sonido son los siguientes:

Flujo de transferencia		
	Audio estéreo comprimido MP3 (calidad insuficiente)	128 Kb/s
	Audio estéreo comprimido AAC (calidad suficiente)	256 Kb/s
	Dolby Digital 5.1 en DVD	448 Kb/s
	Audio estéreo PCM sin compresión (16bits; 48khz)	1,5 Mb/s
	Audio 5.1 PCM sin compresión (24bits; 48khz)	7 Mb/s
	DTS HD Master Audio 7.1 (24bits; 96 khz)	24 Mb/s

Compresión dinámica / compresión de datos

En sonido digital la palabra “compresión” se utiliza en dos contextos diferentes con significados muy distintos:

1. **Compresión dinámica.** En postproducción de sonido, la compresión es una manipulación de los niveles dinámicos de la señal que tiene como objetivo reforzar los sonidos más débiles y atenuar los más altos. Se utilizan los compresores dinámicos típicamente en radiodifusión y en música popular para aumentar la sonoridad. Las producciones de sonido de alta calidad evitan el uso de compresores en favor del rango dinámico.



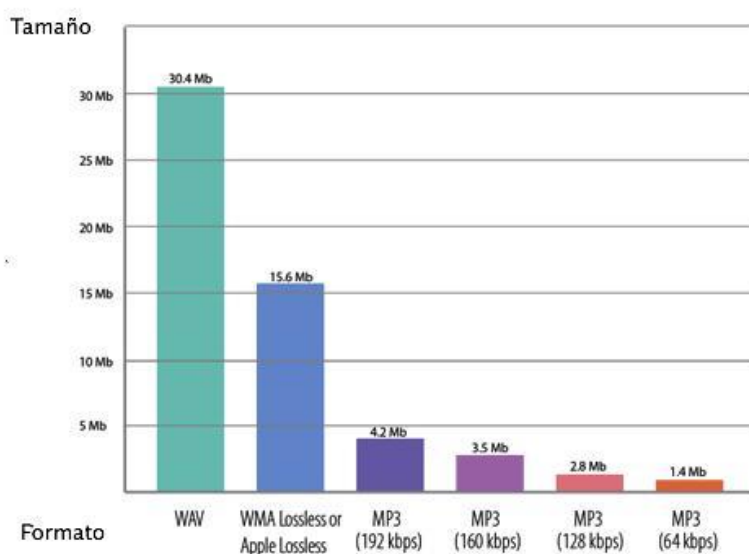
Before compression



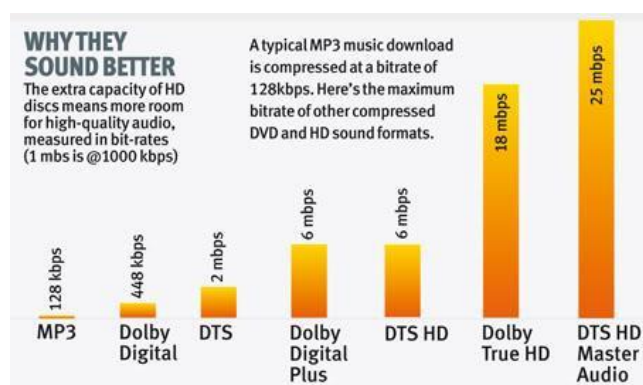
After compression

Compresión dinámica de una señal de audio. fuente:[Articulate](#)

2. **Compresión de datos.** Cuando se hace la codificación digital del sonido, la compresión es la reducción del tamaño de los archivos mediante unos algoritmos que llamamos ‘códecs de audio’. El ejemplo más conocido de compresión de datos para sonido es el formato ‘.mp3’, que reduce drásticamente el espacio que ocupa un archivo de audio en un disco duro, a costa de una pérdida de información y por lo tanto de la calidad. En difusión de sonido para cine la norma de compresión más extendida es ‘Dolby Digital’.



Compresión de datos MP3. fuente: Sarte Audio Elite

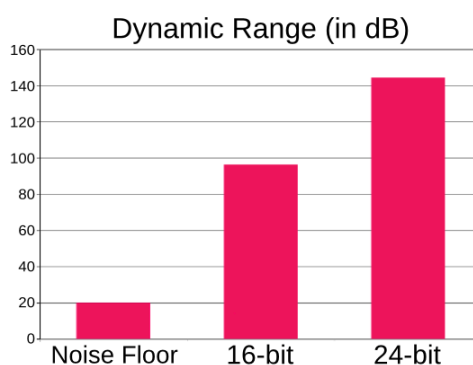


Compresión de datos en los formatos de máxima calidad. Fuente: The Media Server

Rango dinámico y sonoridad

El rango dinámico del sonido es la diferencia entre los valores de nivel más bajos y los más altos. Se mide en decibelios (db).

Existe una relación directa entre profundidad de bits y rango dinámico del sonido: cada bit que se emplea para generar la señal digital incrementa en 6 db la capacidad de registro de presión sonora. Con 16 bits se alcanzan 96 db de rango dinámico y se amplía a 144 db para 24 bits. Este valor de rango dinámico es, en teoría, suficiente, puesto que la capacidad del ser humano para percibir el sonido se sitúa en torno a los 120 db. Por encima de 120 db se encuentra el umbral del dolor.

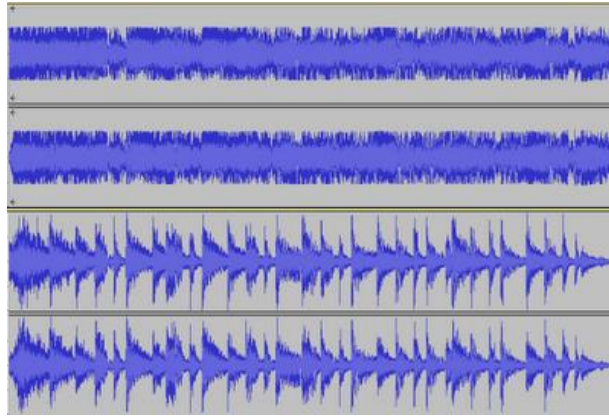


Capacidad de registro del rango dinámico en función de la profundidad de bit. Fuente: Libremusicproduction.

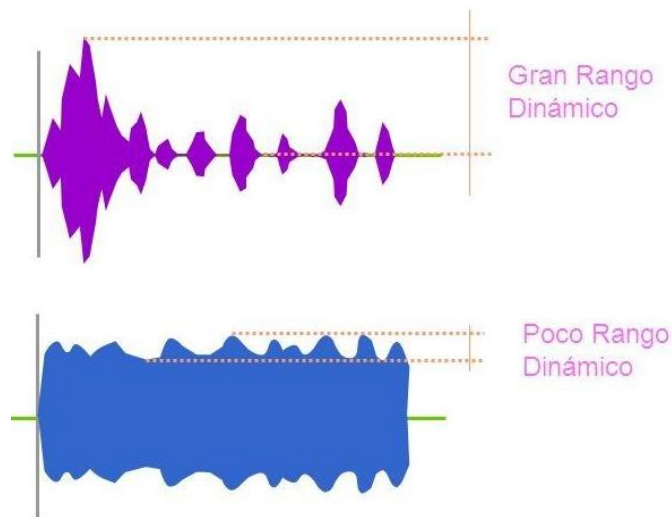
En grabaciones de música clásica tiene mucho sentido utilizar 24 bits, ya que la diferencia de dinámica entre un *Piano-Pianissimo* y toda la orquesta tocando a la vez es muy grande.

En cine, también es muy importante el rango dinámico. En estudios de grabación de orquestas para bandas sonoras suelen preferir utilizar 32 bits para capturar más dinámica. Las excelentes condiciones de reproducción del sonido en una sala de exhibición permiten apreciar con claridad tanto los sonidos más leves como el estruendo de las escenas de acción.

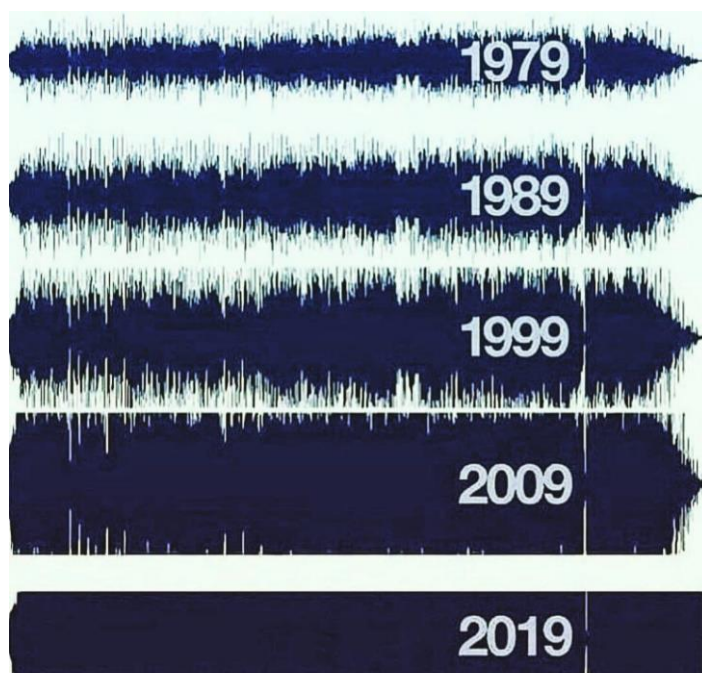
Sin embargo, en radio o en televisión, se utilizan compresores para reducir el rango dinámico y el resultado es que no hay tanta diferencia entre los niveles de sonido más bajos y los más altos. Esta compresión dinámica se hace para aumentar la **sonoridad** (*loudness*) y ayudar a la inteligibilidad del sonido en condiciones críticas de audición, por ejemplo, al escuchar la radio en un coche o la televisión en un ambiente ruidoso. El resultado es que tanto los susurros como los gritos quedan a un nivel alto e inteligible. La víctima en este proceso es el rango dinámico y el resultado se aleja de la percepción natural del sonido.



*Forma de onda de la señal sin comprimir (abajo) y con compresión dinámica (arriba).
Fuente: Wachusett.*



Esta cuestión se hace patente en la sensación de volumen que tiene la publicidad en televisión. Los radiodifusores se han dado cuenta de que las mediciones de los picos de sonido no reflejan la sensación de volumen de un programa. Los productores de los anuncios hacen las mezclas de sonido con mucha compresión dinámica, sacrificando el rango dinámico en favor de una mayor sonoridad. Esto genera quejas de los usuarios y baja los estándares de calidad de sonido, en tanto que todo suena muy plano y se genera una ‘guerra de decibelios’ para que ver quien suena más fuerte.



Evolución simulada de la forma de onda de temas musicales. Fuente: EBU

La norma europea EBU R.128 (2011) “Normalización de la sonoridad y nivel máximo permitido de las señales de audio” trata de poner orden en esta cuestión:

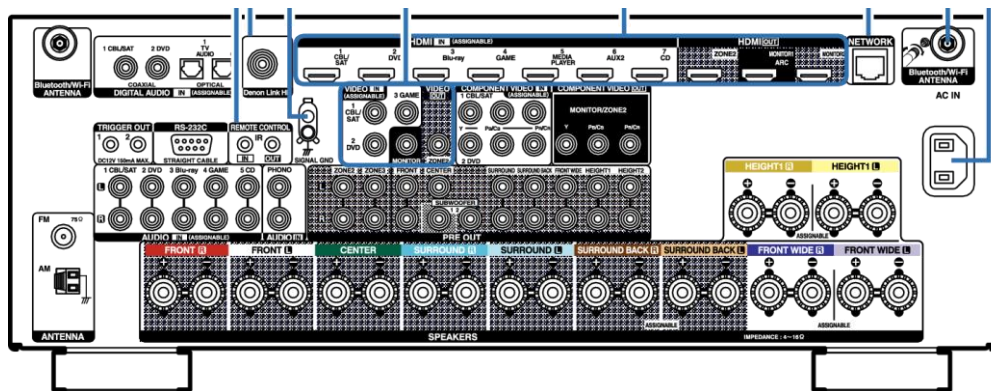
“The switch from audio peak-normalization to loudness normalization is probably the biggest revolution in professional audio of the last decades. It is important for broadcasters to be aware of the loudness paradigm and how to adopt their systems and working practices accordingly.” ([Roger Miles, EBU](#))



WLM loudness meter. fuente: [Waves](#)

Lo importante en esta cuestión, no es quien suena más fuerte, sino que la película que están poniendo en televisión suene parecida a cómo se escuchaba en la sala de cine, es decir, con sus picos altos y sus pasajes de susurros. Existe la tecnología suficiente para tratar esos 115 dB de rango dinámico de la sala de cine y meterlos en los 80 dB de una TDT por ejemplo, con sus picos por encima y valles por debajo, sin que esté sonando todo el rato a 95 dB en TV. Solo así se respeta una dinámica apropiada para cada entorno.

“Si un compositor quiere transmitir ruido, agresividad, malestar, ira, etc.... parece buena idea hacer salvajadas con el sonido, pero si la razón es la de ‘es que no quiero sonar más bajo que los demás’, creo que es mejor que se vaya haciendo a la idea de que las reglas del juego han cambiado.” ([Ibon Larruzea](#))



Panel trasero del receptor AV Denon AVR-X4200W para sonido envolvente. Fuente: Denon

Códecs para sonido multicanal

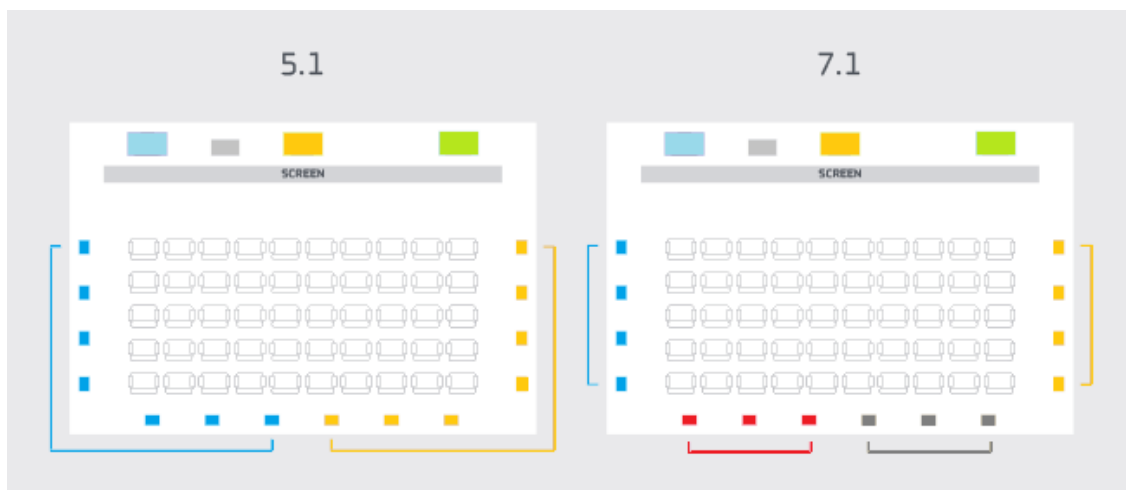
Antes de hablar de códecs, hay que echar la vista atrás y fijarse en los inicios del sonido multicanal analógico. No fue la industria musical, si no la del cine, la que fue pionera en esta materia. *Fantasia* (1940, Walt Disney) fue la primera película que experimentó con el sonido multicanal o envolvente (*surround sound*) para cine. Desde entonces se han desarrollado muchos sistemas de sonido para mejorar la experiencia de usuario tanto en las salas de exhibición como en el hogar (*home cinema*).



Colocación de los altavoces en un sistema multicanal de sonido envolvente para una sala de exhibición de cine. Fuente: [wikipedia](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_audio)

En la actualidad, en el sector audiovisual, nos podemos encontrar con distintas configuraciones para sonido envolvente:

- Surround 5.1: añade dos canales laterales (*surround left, surround right*) y un canal de subgraves (*subwoofer*).
- Surround 7.1: añade al 5.1 dos canales traseros (*rear left, rear right*).
- Sonido inmersivo, sonido 3D o sonido por objetos: es una nueva concepción del sonido envolvente que no está basada en el número de canales sino en el posicionamiento espacial de cada fuente de sonidos.



El sistema 7.1 dedica dos canales independientes para el sonido trasero izquierdo y derecho diferenciados de los canales laterales. Fuente: [Tech Review](https://www.techreview.es/)

Los inicios del audio digital para salas de cine

En los años previos a la proyección de cine digital (DCI) había tres sistemas de audio digital para salas de exhibición: Dolby 5.1, DTS 5.1 y SDDS 7.1. Estos tres formatos solventaron las limitaciones técnicas para registrar, almacenar y procesar sonido digital; así como la sincronización del sonido digital con la proyección de película de 35 mm.

El primero en llegar en esta carrera fue '**Dolby Digital (AC-3)**' que se estrenó en 1992 con *Batman Returns* (Tim Burton). Fue el primer sistema de audio multicanal digital 5.1 para cine. Era un códec con mucha pérdida de información, 10 a 1 (10:1), pero que discriminaba muy bien los sonidos más relevantes para el ser humano basado en su excelente codificación psicoacústica. Técnicamente era muy eficiente ya que lograba meter seis canales en 448 kb/s. Sin compresión, el equivalente serían casi 7 Mb/s.



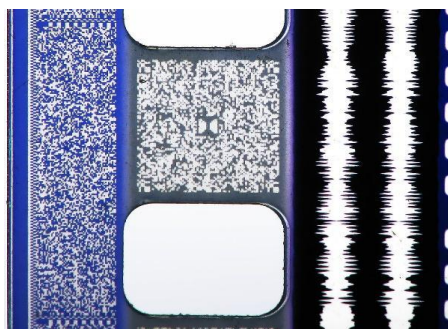
La sincronización con la proyección se hacía imprimiendo las pistas de sonido en el celuloide (proceso óptico) por contraposición a lo que se venía haciendo anteriormente (pegar literalmente bandas de sonido magnéticas a la tira de 35mm).



Justo después del lanzamiento de 'Dolby Digital', con *Jurassic Park* (1993, Steven Spielberg), apareció '**DTS Digital Theater System**' que daba más calidad al utilizar mucha menos compresión (3:1) y fidelidad, ya que para sincronizar el audio digital con la película de 35 mm se usaba un código de tiempo impreso en el celuloide y unos discos CD-ROM externos. Este incremento de calidad gustaba sobre todo a los directores y al equipo técnico-artístico responsable de la banda sonora, pero era más complejo y costoso. Desde 2008, por un cambio accionario, se denomina **DATASAT Digital Entertainment**.



El tercer sistema, '**SDDS Sony Dynamic Digital Sound**', se lanzó con *Last Action Hero* (1993, John McTiernan) y estaba instalado sobre todo en las salas de exhibición que tenían acuerdos de distribución con Sony. Esta patente definió un primer sistema 7.1, que es distinto al que actualmente se utiliza: era una configuración de canales 7.1, ubicando detrás de la pantalla cinco de ellos (Left, Left-Center, Center, Right-Center y Right). Solo las grandes producciones de Hollywood mezclaban en este formato (principalmente Columbia Pictures, filial de Sony) que, además, al necesitar más altavoces y amplificadores era mucho más caro de instalar para el exhibidor.



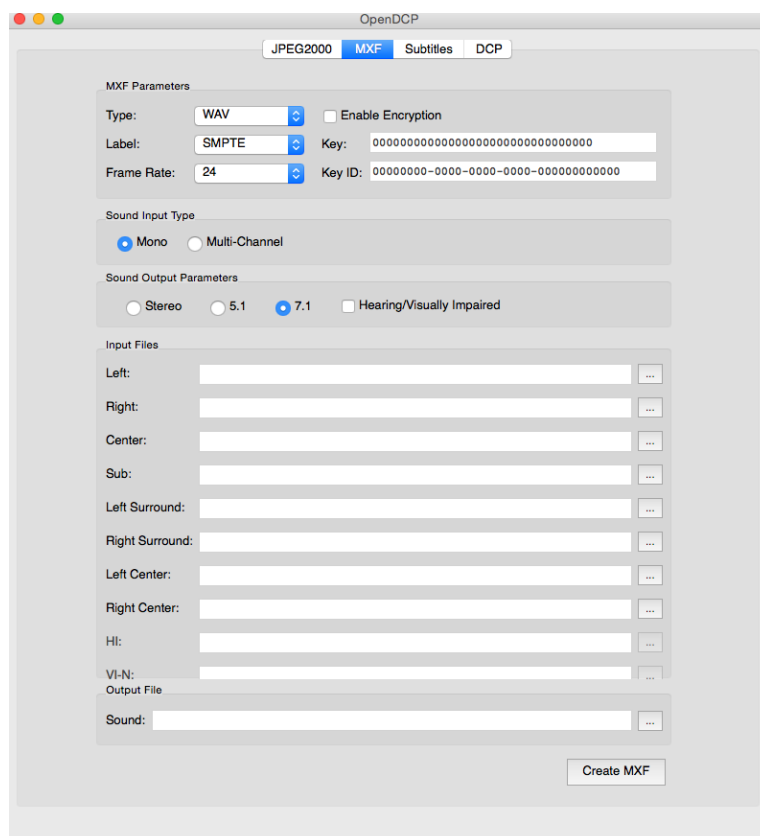
De izquierda a derecha: SDDS (área azul a la izquierda), Dolby Digital (zona gris entre los agujeros dentados), sonido analógico surround (dos líneas blancas a la derecha de la pista Dolby Digital) y el código de tiempo para DTS (línea punteada a la derecha de la pista analógica). Fuente: Rotareneg

De estas tres soluciones para el audio digital en salas de cine, Dolby, que llegó primero, consiguió convertirse prácticamente en el estándar de facto.

Años más tarde, cuando se sustituyeron los proyectores de película 35 mm por los sistemas digitales DCI, la sincronización del sonido dejó de ser un problema. El soporte de las películas pasó a ser un disco duro DCP con capacidad suficiente para almacenar y reproducir sonido sin compresión y se pudieron usar directamente los archivos en formato PCM (.wav) tanto para estéreo como para sonido envolvente 5.1 o 7.1.

A partir de entonces, para la proyección de cine digital, se puede hacer sonido multicanal sin pagar ningún tipo de licencia, ni royalties de patente alguna.

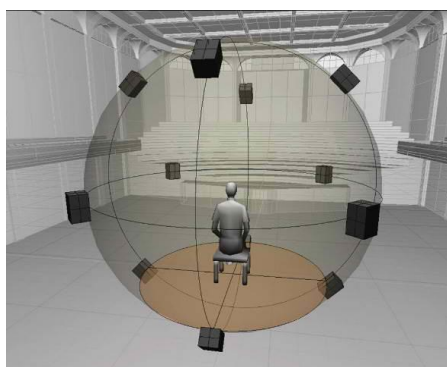
En la siguiente captura de pantalla se puede ver el menú del *software* 'OpenDCP' para la creación de un archivo de audio 7.1 para salas de cine: se parte de 8 canales mono en formato PCM (.wav) sin comprimir para generar un archivo MXF.



Configuración de los canales de sonido para 7.1 para DCP con OpenDCP. El sistema crea un archivo MXF a partir de los ocho canales mono en formato PCM (.wav)

Sonido inmersivo, sonido 3D o sonido basado en objetos

El nuevo paradigma en audio es el sonido inmersivo, sonido 3D o sonido basado en objetos, que tiene aplicaciones en exhibición de cine en salas, en realidad virtual y también en el entorno de consumo doméstico de contenidos audiovisuales. El nuevo modelo ya no está basado en el número de canales: las mezclas para sonido inmersivo pueden añadir para cada fuente sonora, (denominadas objeto) una ubicación en el espacio 3D.



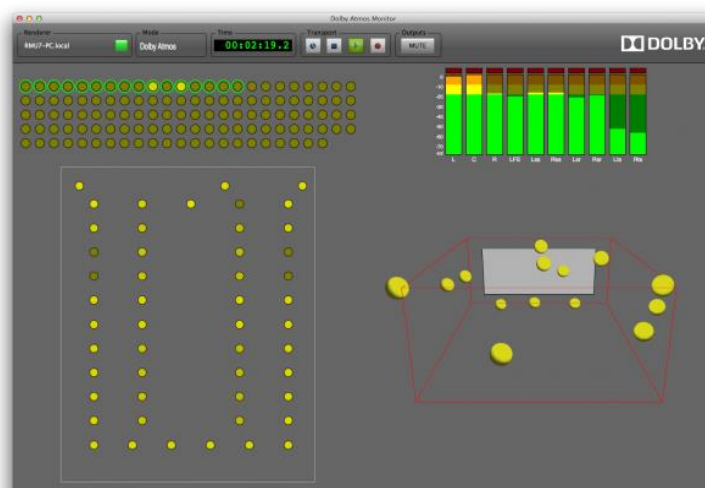
Esquema de la recepción de sonido inmersivo. Fuente: [Newsbytes](#)

Se sigue teniendo en cuenta los antiguos canales a la altura del oído, ahora denominados '**beds**' (traducido como base o soporte) 5.1 o 7.1 o incluso 9.1 pero siempre añadiendo la dimensión vertical de **objetos** libres para acomodarse en cualquier posición del eje horizontal y vertical.



El campo de sonido que percibe el ser humano es como una esfera y nosotros estamos dentro de ella escuchando distintas fuentes de sonido u objetos. Con los sistemas de sonido basados en canales, los creadores tienen que pensar en la configuración que tiene el cliente final (2.0, 5.1 o 7.1) para que los efectos de espacialidad suenen eficazmente. Pero los sistemas de audio basados en objetos ofrecen mayor libertad creativa porque se incluye en los metadatos una descripción espacial de la ubicación de cada objeto.

A partir de estos metadatos, el procesador del audio tendrá que ajustar la mezcla en función del número de altavoces disponible y su posición en cada sala. El procesador determinará automáticamente cómo usar estos metadatos para crear el campo de sonido más inmersivo posible.



*Interfaz de usuario de Dolby para la colocación de objetos sonoros en el espacio 3D.
Fuente: Dolby*



*Colocación de los altavoces laterales y superiores en una instalación Dolby Atmos.
Fuente: Dolby*

Esta flexibilidad facilitada por los metadatos del sonido basado en objetos, viene acompañada de otras innovaciones, entre las que destacan:

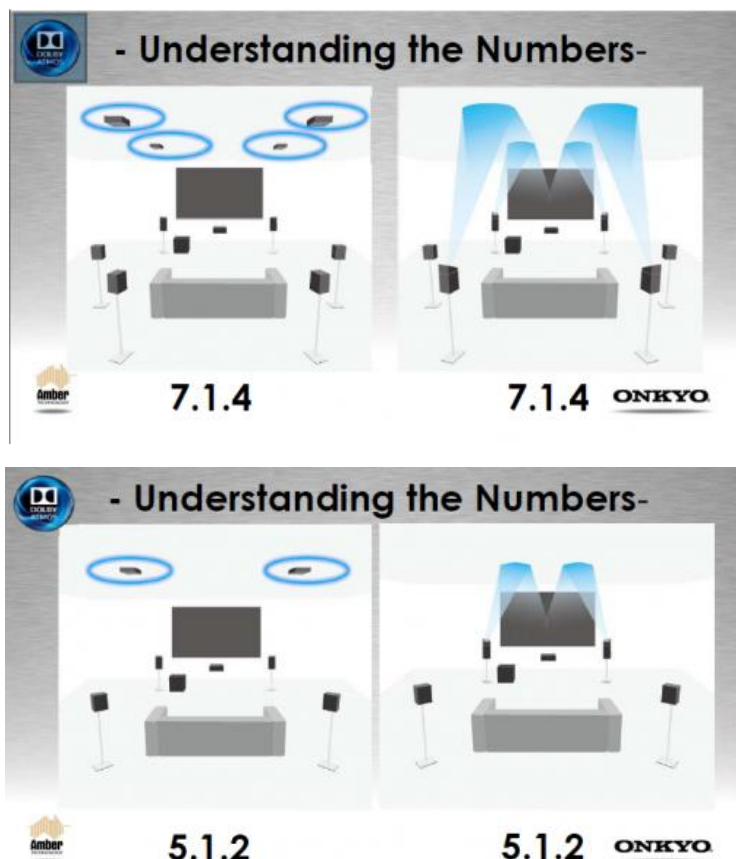
- Altavoces en el eje vertical
- Gestión específica del rango dinámico para cada entorno de reproducción
- Mayor precisión de la panoramización de las fuentes de sonido

El diseño de sonido basado en objetos hace que la experiencia del audio envolvente sea posible con cualquier configuración de altavoces, aunque, como es obvio, a mayor número de altavoces, mejor será la experiencia inmersiva, ya sea en una sala de exhibición o en el hogar (*Home Cinema*).



Configuración de los altavoces Home Cinema. Fuente: Auro 3D

Para designar las distintas configuraciones de altavoces se utilizan un código de tres cifras. Por ejemplo, en 9.2.4, la primera cifra (9) indica el número de altavoces tradicionales, la segunda (2), el número de altavoces de subgraves (*subwoofer*) y la tercera el número máximo de altavoces de altura o eje vertical.



Entendiendo los números: en la derecha con altavoces directos en el techo y a la izquierda utilizando sonido reflejado. Fuente: Onkyo

En la actualidad coexisten tres sistemas de sonido inmersivo compitiendo:

- En 2012, Dolby lanzó '**Dolby Atmos**' con la película *Brave* (2012, Pixar, Mark Andrews & Brenda Chapman).
- '**Auro 3D**', de la compañía belga Barco, especializada en proyección digital para cine. La primera película que utilizó Auro para el estreno de su sistema fue *Red Tails* (2012, Lucasfilm, Anthony Hemingway)
- Tres años más tarde, en 2015, DTS entró en escena presentando su sistema de mezcla de sonido por objetos, '**DTS X**', de momento más centrado en la electrónica de consumo, como los Blu-ray 4K.

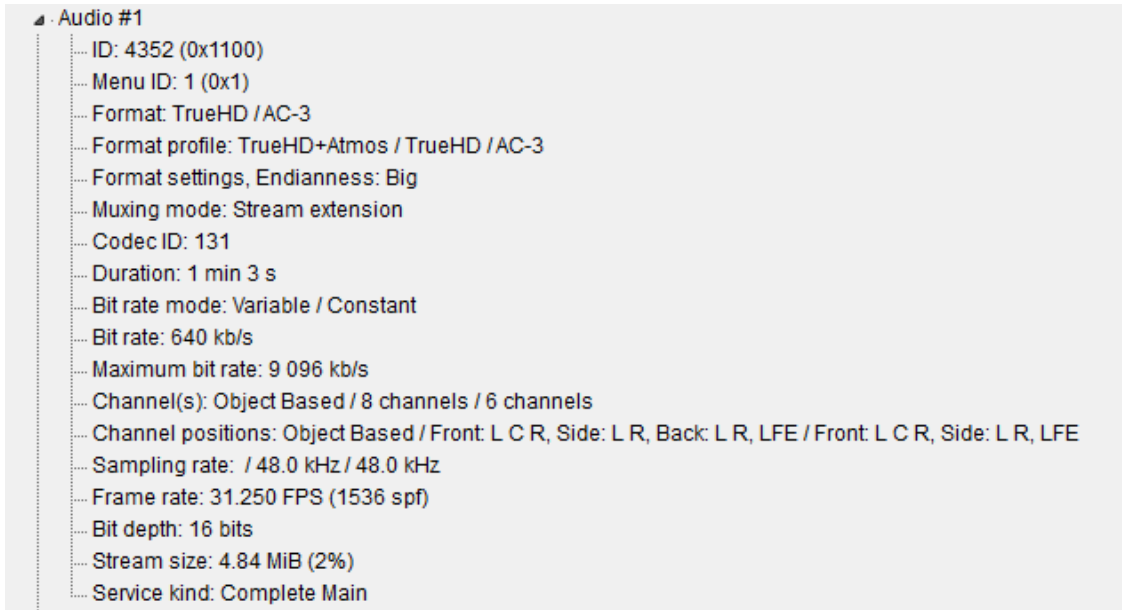


La mayor dificultad para la implantación de estos sistemas inmersivos es la interoperabilidad: cada exhibidor debe apostar y elegir uno para instalarlo en sus salas. Afortunadamente en el ámbito doméstico la mayoría de los componentes (TV UHD, receptores AV, reproductores multimedia...) cuentan con los códecs de varios fabricantes a la vez.

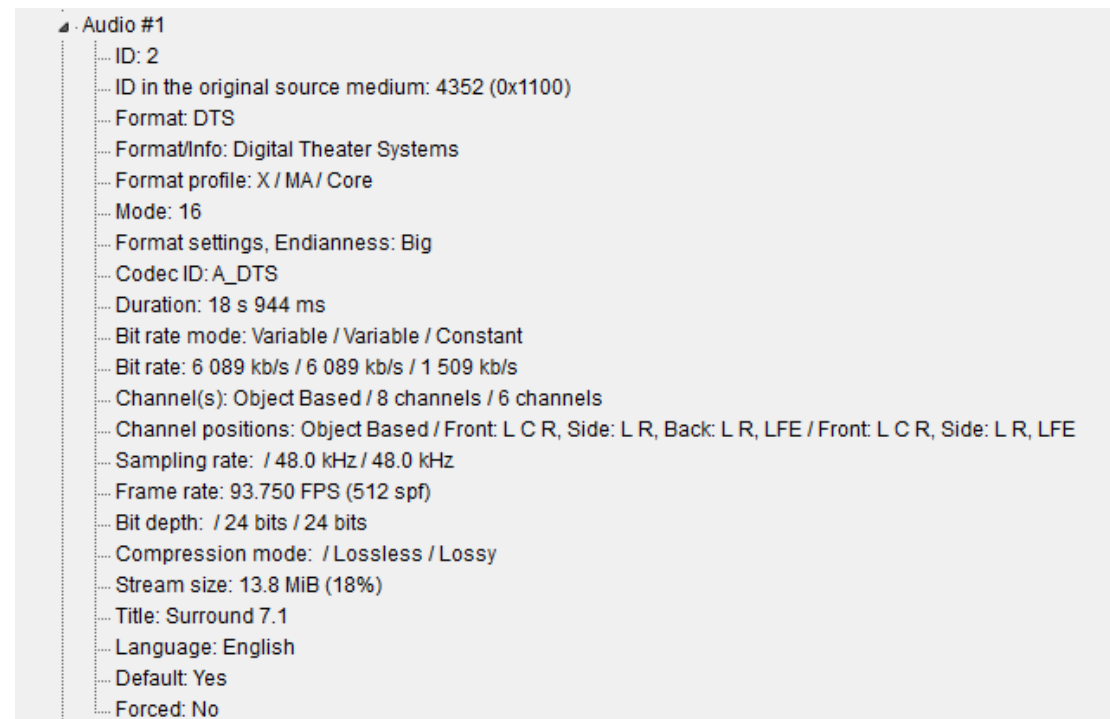
Debido a la diversidad de instalaciones de sonido en las salas de exhibición y los hogares, una misma película se tiene que poder escuchar en estéreo, en 5.1, en 7.1 y en sonido inmersivo 3D. Estas conversiones se basan en el concepto de *downmix*.

El **downmix**, es el procedimiento por el cual una mezcla basada en una configuración de más canales/altavoces se reduce a una configuración menor, por ejemplo, pasar de una mezcla 5.1 a un estéreo. No se trata solo de una cuestión de recolocación de las fuentes de sonido, si no también, de *delays*, coeficientes reductores de volumen, dinámica y ecualización. El proceso de *downmix* tiene que garantizar que una película se escuchará fielmente en cualquier instalación en un hogar.

Para la adaptación del sonido basado en objetos a los distintos escenarios de recepción domésticos, se utilizan los metadatos que vienen asociados al archivo de sonido MXF. El equipo de reproducción, cuando lee el MXF con los metadatos, tiene que detectar el procesador y el modo de distribución, y entonces, hace el ajuste de la espacialidad y la dinámica. Por ejemplo, en la reducción de 64 canales de sonido a 16, hay un conflicto enorme de dinámica. Si no se hace bien, ciertos altavoces pueden acabar saturados. Ese ajuste de espacialidad y ese segundo ajuste de dinámica, es de lo más interesante que trae Dolby Atmos, DTS-X o Auro 3D



Metadatos de un archivo MXF preparado para Dolby



Metadatos de un archivo MXF preparado para DTS

Los estudios de sonido certificados por Dolby como 'Dolby Atmos Premier' pueden llegar a tener hasta un máximo de 128 canales mapeados para disponer de 64 *outputs* simultáneos. Y gracias al *hardware* con el que están dotados pueden comprobar en tiempo real como queda el resultado en otras configuraciones más reducidas como por ejemplo, 16 altavoces, un entorno 5.1 o incluso un estéreo.

En España, cada vez hay más salas apuestan por el sonido inmersivo. Las grandes cadenas, como Kinopolis, Odeon o Cinesa, han optado mayoritariamente por la propuesta de Dolby Atmos. DTS X tiene presencia fuera de España y 'Auro 3D' tiene niveles muy bajos de implantación internacional porque prácticamente solo se instala cuando se ha comprado previamente un proyector DCI de la misma marca, Barco.

Sonido para salas de exhibición de cine

La norma DCI para los servidores DCP es la referencia técnica que se utiliza para la exhibición de cine digital en salas.

Estas son las recomendaciones básicas que hace [Fernando Alfonsin](#) en relación al audio para la creación de un DCP:

- Un DCP puede incluir hasta 32 pistas de audio lineal PCM.
- Las configuraciones más comunes son 5.1, 7.1 y estéreo 2.0.
- Para crear un DCP necesitamos que nos entreguen cada canal por separado en un fichero .WAV (mono) con una resolución de 24 bits y una frecuencia de muestro de 48 kHz o 96 kHz.
- Una vez procesados todos los canales se crea un fichero MXF con ellos.
- El sonido multicanal, al ser PCM, no necesita codificación Dolby y por tanto se ahorra en el coste de esta licencia

Cuando se masteriza una película para DCP se pueden dar las siguientes configuraciones de audio multicanal:

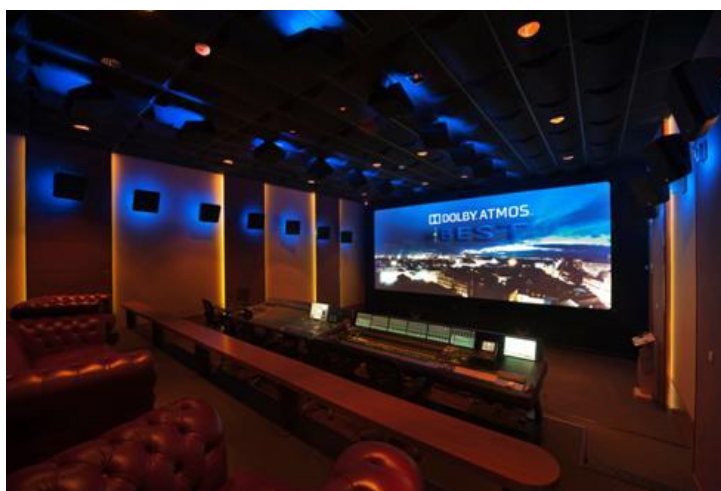
Configuración	Canales y formato	
Estéreo	2 PCM	left, right (muy poca presencia, obsoleto)
LCR	3 PCM	left, center, right (conocido como estéreo para salas de cine)
5.1	6 PCM	front L., C., front R., surround L, surround R. + Subwoofer
7.1	8 PCM	se añaden los canales traseros: rear L. y rear R.
Inmersivo	MXF	sonido por objetos, sonido 3D

El estéreo de la industria musical, no se usa en cinematografía. En la configuración mínima se incluye un tercer canal central: LCR (*left, center, right*). Solo se encuentran en estéreo algunas piezas publicitarias o adaptaciones de otros medios que se exhiben también en las salas de exhibición (desgraciadamente sin haber adaptado su mezcla).

El canal central ya se usaba hace décadas, así que en los DCP para exhibición en salas es muy recomendable mezclar incluyendo este tercer canal. Incluso para cortometrajes con presupuestos muy ajustados, la recomendación es por lo menos hacer un LCR.

En largometrajes de ficción o documentales, lo habitual es la configuración 5.1. En España no se está mezclando casi nada en 7.1.

El sonido inmersivo / por objetos, se extiende progresivamente. Dolby Atmos se está incorporando a la producción audiovisual española. Sobre todo porque las grandes salas de mezcla ofrecen la mezcla Atmos a precios razonables y de ahí se generan automáticamente las submezclas en 5.1, estéreo para Tv etc. Y por la obligación o recomendación de las grandes cadenas de ‘video bajo demanda’ (Netflix, Disney +...) como argumento facilitador de compra internacional del producto.



Sala para mezclas de sonido Dolby Atmos Best Digital: fuente Best Digital

Códecs Sonido para televisión en UHD y Blu-ray

Radiodifusión:

En postproducción de sonido para televisión lo ideal es hacer al menos dos mezclas distintas a la original de las salas de exhibición: un 5.1 nuevo y un estéreo, ajustando dinámicas, ecualizaciones etc.

En radiodifusión no es posible emitir a la vez la versión original y la doblada en 5.1 y estéreo. Ocuparía demasiado ancho de banda. Lo habitual es emitir con Dolby Digital y utilizar el sistema automático de *downmix* para sacar la versión estéreo en el receptor doméstico. Desgraciadamente se produce una pérdida de fidelidad con la mezcla original puesto que el resultado es dependiente de la configuración de receptor que descodifica en el hogar. La mezcla estéreo producida en postproducción siempre estará mejor que el estéreo que se consigue a partir de un *downmix* de Dolby Digital 5.1.

Para la televisión y la difusión digital de audio multicanal, Dolby creó ‘[Dolby Digital Plus](#)’, un códec con más capacidad que el tradicional ‘Dolby Digital (AC-3)’.

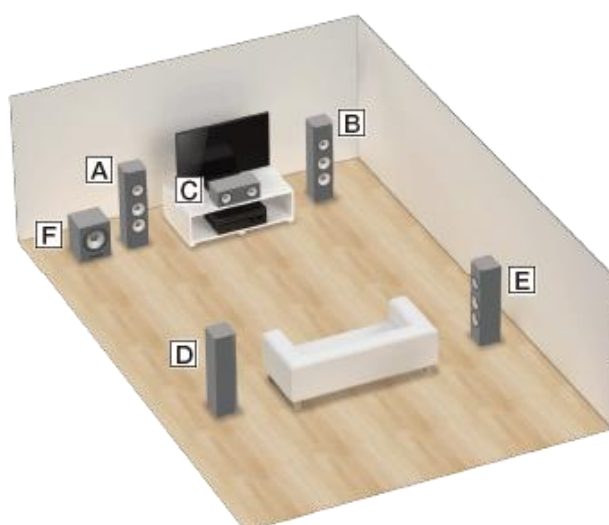


La arquitectura del sistema funciona con un *core* 'Dolby Digital' y unas extensiones (*substream*) que le van añadiendo más capacidades. 'Dolby Digital Plus' puede llegar hasta 6 Mb/s y la extensión 'Atmos' ya permite la recepción en hogar del sonido inmersivo.

El *core* 'Dolby Digital' siempre hace falta, porque las extensiones 'Plus' y 'Atmos' no son reproducibles de forma aislada. Siempre necesitan el paquete anterior, por eso se llaman extensiones.

El 'Dolby Atmos' para *broadcast*, es una versión reducida, pero mantiene el espíritu de la mezcla Atmos que se hizo para los cines. Y es una mejora enorme con respecto al paquete anterior, 'Digital Plus' a secas, y del *core* 'Dolby Digital'.

Para radiodifusión no hay una solución de DTS, ni siquiera aparece como recomendación en las versiones actuales de la norma BT.2020 como 'Dolby Digital Plus'.



Configuración de altavoces para home cinema 5.1 en el hogar: A) Altavoz delantero (izquierda) B) Altavoz delantero (derecha) C) Altavoz central D) Altavoz envolvente (izquierda) E) Altavoz envolvente (derecha) F) Altavoz potenciador de graves. Fuente: [Sony](#)

Blu-ray:

Para los Blu-ray se sigue el mismo esquema que para la radiodifusión, pero los códecs son distintos porque no se dan las mismas restricciones en relación con el ancho de banda de la radiodifusión. En los discos Blu-ray la dificultad está en que normalmente se incorporan varios

idiomas para facilitar la comercialización internacional y no hay espacio de almacenamiento suficiente en el disco para poner sonido envolvente en todas las versiones.

Por lo tanto, para Blu-ray nos encontramos con códecs distintos que los que se usan en televisión o para internet. Para el sonido multicanal se pueden dar tres casos:

- 1) Sonido 5.1 PCM. Sonido sin compresión, sin patente.
- 2) '[DTS-HD Master Audio](#)'. Sonido sin compresión; hasta 24.5 Mbits/s de flujo de transferencia.
- 3) '[Dolby True HD](#)'. Sonido sin compresión. Hasta 18 Mbits/s de flujo de transferencia.

En realidad, Dolby TrueHD y DTS HD Master audio, son lo mismo: comprimen sonido WAV multicanal pero sin pérdidas en la reproducción final



Los primeros Blu-ray venían con sonido 5.1 PCM sin comprimir que no está sujeto a ninguna patente. Pero con este modelo no caben en un disco de 50 GB muchas versiones de idiomas, ni todos los equipos son compatibles con él (aunque parezca paradójico).

Poco a poco el sector se ha ido pasando a 'DTS HD Master Audio', que organiza los ficheros para que ocupen menos espacio, pero sin pérdidas de información (actuando de igual manera que un archivo .zip o .rar). 'DTS HD Master Audio' se utiliza como portador de una extensión que puede llevar el sonido inmersivo DTS-X. Del mismo modo, 'Dolby True HD', permite integrar la extensión Atmos.

Con todo esto, lo habitual en los lanzamientos de Blu-ray 4K de películas, es encontrar este escenario: un 7.1 con DTS-X inmersivo en la versión original; un 7.1 en castellano en DTS HD Master audio; y los demás idiomas en 5.1 o estéreo en Dolby Digital.

En esta imagen se puede ver la contraportada de un Blu-ray 4K donde se ven los diferentes códecs de audio que han incorporado en este lanzamiento comercial.



Logotipos de sistemas de audio en la contraportada de un Blu-ray 4K

Códecs de sonido para difusión por internet

Advanced Audio Coding (AAC) es el formato de sonido que más se está utilizando para difusión de contenidos audiovisuales por internet. Aunque es difícil generalizar, puesto que hay muchos escenarios tecnológicos distintos: V.O.D. través del proveedor de telefonía, televisión por internet OTT/HBBTV, video en páginas web *streaming/downloading*, etc.

En Internet el factor determinante es la limitación de ancho de banda. En ese sentido es un escenario similar al de la radiodifusión, donde lo que prima son flujos de transferencia muy bajos.

En entornos de vídeo bajo de demanda de pago, el 5.1 está bastante normalizado. Pero se está lanzando el sonido a menos de 320 Kbits/s que es muy poco para que seis canales de sonido suenen fielmente a la mezcla original.

Incluso **Youtube**, a finales del año 2021, optó por añadir soporte para sonido 5.1 en TVs de rango medio/alta, Chromecast, Apple TV, Roku y muchos dispositivos Fire TV. Su codec recomendado para subir contenido 5.1 es AAC a 512 Kbits/s

Recientemente con la pujanza de los nuevos actores como Netflix, Disney +, HBO, etc., se están subiendo los flujos de transferencia y utilizando nuevos códecs, como 'Dolby Digital Plus' a 768 Kbits/s con la extensión Atmos (manteniendo el sonido por objetos, pero en una versión más reducida que la original).



Configuración de altavoces en el hogar con sonido reflejado en techo. Fuente: Dolby



Altavoz Pioneer S-BS73A para proyectan sonido hacia el techo. Pioneer

Conclusiones del capítulo de sonido

La mejora de la experiencia de usuario de la ultra alta definición tiene que pasar forzosamente por un sonido de mayor calidad. Sin embargo, los desarrollos tecnológicos para mejorar la calidad del audio, que están resueltos desde hace años, no se han implantado de forma generalizada.

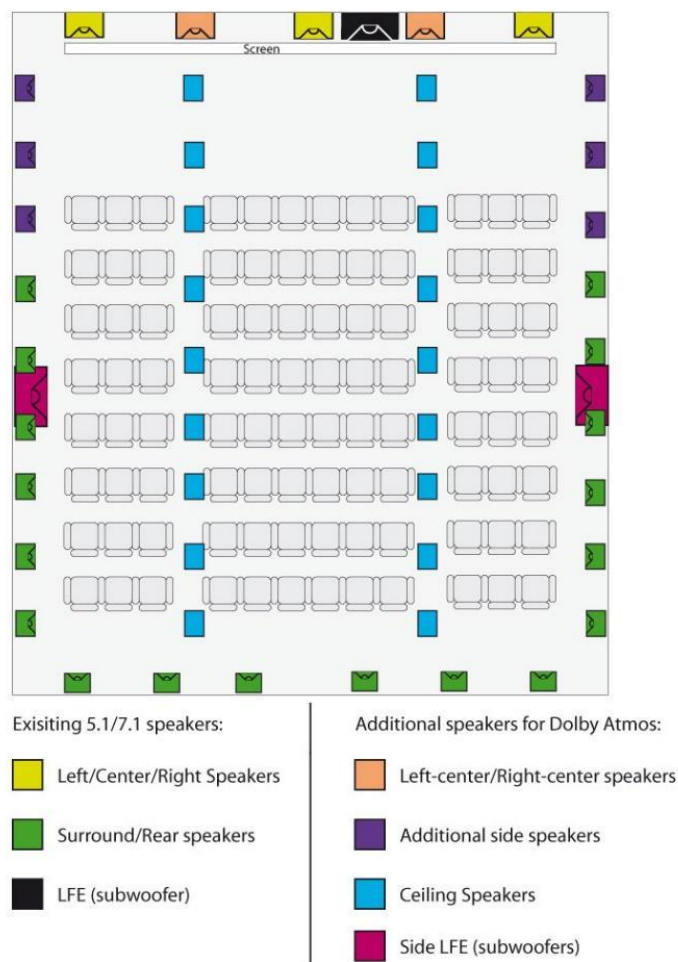
Manuel Sánchez Cid, profesor de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC) y experto en sonido envolvente, ha expresado reiteradamente esta idea:

“La ultra alta definición no termina de significarse por incorporar la implementación definitiva de los parámetros de máximo nivel de calidad de sonido logrados hasta la fecha por el desarrollo tecnológico. No obstante, la llegada del Ultra HD posibilita una reapertura hacia a conceptos de inmersión sonora que, sin ser novedosos, se orientan hacia la implementación del segundo plano vertical, así como parece que permite asumir con mayor compromiso una planificación espacial más entroncada con la multiperspectiva y la ruptura del anclaje visual.”

El reto que plantea Sánchez Cid está, por lo tanto, orientado a cuestiones artísticas de realización y a cómo se utilizan los recursos técnicos disponibles. Con los sistemas de sonidos envolvente, son especialmente relevantes la representación del espacio (planos sonoros) y el punto de audición en el que se sitúa al espectador (perspectiva).

Los niveles de calidad que la tecnología de sonido ofrece actualmente son enormes y lo que se está utilizando en la práctica es muy poco en comparación con de lo que se podría hacer.

Sonido en salas de exhibición. En los complejos de exhibición, la tendencia es la actualización o adaptación al sonido inmersivo o 3D en una configuración básica sólo en la sala con mayor capacidad de público. En las salas o cines nuevos, la tendencia es construir aquellas con más capacidad de espectadores directamente en sonido inmersivo en configuración avanzada y el resto o no dotarlas de sonido inmersivo o hacerlo en una configuración pequeña.

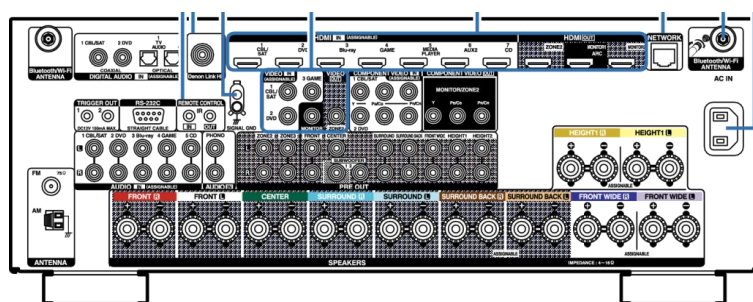


*Distribución de altavoces de sonido envolvente para una sala de exhibición de cine.
Fuente: Dolby*

Radiodifusión. El cuello de botella en cuanto a la calidad de sonido está aquí. Para la captación y la postproducción de sonido hay estándares y herramientas de muy alta capacidad que ven frenada su expansión por la gestión del ancho de banda, el coste económico renovando equipos y la falta de innovación como inversión en imagen corporativa. Las emisiones en mono o estéreo son mayoritarias en la TDT. En la TV por satélite/cable, el Dolby 5.1 convive con producciones estéreo.

Vídeo bajo demanda. Es el actual motor del desarrollo e innovaciones técnicas en la entrega de materiales con mayor calidad de imagen y de sonido, con *bit rates* más elevados, códecs de última generación, sonido inmersivo etc.

Consumo audiovisual de alta calidad en el hogar o *Home Cinema*. Los equipos de *Home Cinema* facilitan las condiciones necesarias para disfrutar el sonido prácticamente con la misma calidad que en el estudio de producción (evidentemente, sin contar el acondicionamiento acústico etc.). Si a estos equipos les llegan señales bajo demanda online o discos Blu-ray, tenemos al alcance contenidos HDR / 4K / sonido inmersivo/ audio sin pérdidas etc. a todo al máximo nivel, cuando hace unos pocos años esto era impensable en un hogar.



Panel trasero del receptor AV Denon AVR-X4200W para sonido envolvente. Fuente: [Denon](#)

Conclusiones sobre la migración a la televisión Ultra HD y al cine 4K

La migración a la televisión de ultra alta definición y al cine digital 4K no es solo una cuestión de aumentar la resolución espacial, sino que debe ir acompañada de un espacio de color más amplio y un aumento tanto del rango dinámico (HDR) como de la frecuencia de fotogramas (HFR). Para mejorar la experiencia de usuario significativamente también hay que incorporar las nuevas tecnologías de sonido inmersivo. Todos estos avances tienen que estar dirigidos a incrementar la sensación de calidad y a potenciar el componente artístico de las obras.

Desde el punto de vista técnico, el espacio de color que se ha implantado para el cine digital (el DCI-P3) no es suficiente. Tiene un gamut muy reducido, parecido al BT-709 de la televisión HD, e inferior al del cine fotoquímico. En ese sentido el paso de la película al vídeo digital ha sido un retroceso. Aún es necesario un nuevo desarrollo tecnológico con un gamut más amplio y una relación de contraste mayor para superar al positivo cinematográfico.

Para la exhibición de cine en salas ya se está hablando de actualizar la norma DCI. La actual tiene limitaciones muy grandes de relaciones de aspecto y frecuencias de fotogramas. Por ejemplo, no está contemplado el formato 4:3 ni la proyección a 16 fps. Las filmotecas tienen muchísimo material de estas características y la norma no las contempla.

Para la radiodifusión televisiva está definido el espacio de color BT-2020 que supone un importante avance, pero las pantallas 4K que se están comercializando no lo han implementado todavía y aún está pendiente una solución abierta y fiable sobre el rango dinámico de la imagen.

Para la producción de programas de televisión, el aumento de la resolución y el contraste de la imagen tiene implicaciones en la dirección de fotografía, la puesta en escena y la dirección artística. La iluminación, escenografía, el maquillaje y la composición de las imágenes tendrán que acercarse más a los modos de trabajo del cine de ficción y cuidar más los detalles que se podrán apreciar en las nuevas pantallas.

El salto tecnológico también implica un aumento de la frecuencia de fotogramas por segundo. Con las frecuencias más altas se obtienen imágenes más nítidas y un movimiento más suave. Esto es especialmente relevante teniendo en cuenta que el incremento de resolución espacial permite ampliar el tamaño de las pantallas y reducir la distancia de visionado.

Un estudio de la BBC¹⁴ sobre las condiciones de visionado de la televisión en el Reino Unido analiza la sensación de calidad en relación con el tamaño de la pantalla y con la distancia a la que se sitúa en el espectador. A una distancia de 2 o 3 metros con un televisor de 40" o 50", la diferencia de resolución espacial entre HD y Ultra HD no es muy apreciable por una cuestión fisiológica de agudeza visual. El 4K será muy notorio en pantallas gigantes cuando el espectador se sitúe muy cerca, como por ejemplo con una pantalla de 100 pulgadas observada a una distancia de 2 metros. Pero esta no es una situación habitual en los hogares.

¹⁴ Noland, Katy C. & Truong, Louise H. (2015) "A Survey of UK Television Viewing Conditions", BBC Research & Development, White Paper WHP 287



Pantalla de 110 pulgadas de Samsung. Fuente: Homecinema Magazine.

Y no es solo cuestión de tamaño y resolución. También es preciso una nueva generación de pantallas más brillantes, con capacidad para representar el contraste y el color con mayor fidelidad.

No obstante, la implantación de la televisión de ultra alta definición y el cine 4K está en marcha con paso firme:

- La parte de la producción está muy avanzada: las cámaras, los grabadores digitales y los sistemas de postproducción pueden trabajar en estos nuevos estándares de calidad.
- Para la difusión existe la norma HEVC que funciona correctamente para televisión vía satélite o cable y para la difusión por internet.
- Ya se está comercializando una primera generación de televisores 4K HDR para los hogares.

Este último aspecto, el de las pantallas, es el más crítico. Para que los usuarios se decidan a invertir en un televisor nuevo, la industria tiene que ofrecer un valor añadido claro. No parece que con la Ultra HD a 4:2:0, 8 bits y con el espacio de color de la norma BT-709 se cumpla este requisito. Las estrategias de *marketing* de los fabricantes de pantallas marcarán los ritmos de implantación de las nuevas prestaciones técnicas.

El proceso de migración se puede alargar muchos años. La experiencia de las transiciones anteriores así lo indica: la definición de las normas de la televisión digital se produjo a principios de los años 90 y la sustitución tecnológica se completó en Europa en 2012, 20 años después. Y eso que el paso de la televisión analógica a la digital contó con una fuerte mediación de los Estados que necesitaban completar el cambio para liberar espectro de radiodifusión. En el caso de la migración a Ultra HD no se darán este tipo de incentivos porque la emisión en 4K ocupa más ancho de banda y es más costosa.

También identificamos una dificultad en los catálogos de contenidos. Todo el material que se difunde hoy en día está producido en el espacio de color BT-709 o DCI-P3. Cuando se empiece con el espacio de color de BT-2020 y se concreten las normas HDR, no habrá contenidos preparados con estas características. Estas conversiones requieren periodos de tiempo muy largos porque implican fuertes inversiones de los proveedores de contenido. Será necesario recurrir a los originales en soporte fotoquímico o generar nuevos materiales para aprovechar todo el potencial de calidad de la nueva tecnología.

La creación audiovisual siempre ha estado vinculada al desarrollo tecnológico, desde los primeros pasos de la fotografía y el cine hasta hoy. Los profesionales tienen que utilizar las nuevas herramientas y formatos para sus creaciones en una lógica de innovación continua marcada por la industria y la comercialización de las obras. Forma parte del trabajo y está implícito en las profesiones del audiovisual. Siempre ha sido así: con la incorporación del sonido y el color en el cine, con la aparición de los distintos formatos de película o con la llegada de la imagen electrónica y digital. Cada uno de estos cambios ha supuesto un reto para los artistas que han explotado las nuevas posibilidades que ofrece la tecnología. La cuestión es aprovechar estas innovaciones para la creación artística, para hacer nuevas obras y mejores.

La tendencia está marcada. Con este trabajo de investigación intentamos aclarar dónde están las claves de este desarrollo tecnológico, en qué momento estamos y cuáles son las perspectivas que se generan bajo la etiqueta que los profesionales del *marketing* han definido como 4K HDR.