

# La Alta Definición es... ¿Conveniente, deseable o necesaria? (3ª parte)

Por Juan Navalpotro

Juan Navalpotro es  
Director Gerente de  
Abacanto Digital

Con esta última entrega finaliza la serie de tres artículos que ha tenido a bien encomendarnos para su publicación Don Juan Navalpotro, sin duda uno de los más prestigiosos especialistas sobre sistemas de TV.

Como es sabido existen diversos formatos de TV AD, por lo que es conveniente referirse a los documentos de la ITU para tener un vistazo sobre los aspectos que se han ido aprobando en los años pasados y los que se recomiendan actualmente. A continuación se tratará este tema en profundidad.

## Formatos que se barajan en la actualidad

Uno de los documentos de interés es el ITU-R BT.709-5 titulado "Parameter values for the HDTV\* standards for production and international programme exchange". En la llamada del título representada por el asterisco incluye una nota al pie con la definición que la ITU entiende como sistema de alta definición:

"Un sistema de alta definición es el diseñado para permitir la visión desde unas tres veces la altura de la imagen, de tal modo, que el sistema es virtual o aproximadamente transparente a la calidad descriptiva que habría sido percibida en la escena original por un espectador con agudeza visual normal."

Es decir, todo lo que se requiere de un sistema de alta definición es que se pueda ver la pantalla desde más cerca que en un sistema de TV convencional y el espectador "normal" vea una buena aproximación a la escena como si hubiera estado presente. Esta definición está en línea con lo relatado en las partes anteriores de este artículo.

El documento se inicia con las consideraciones relacionadas con los sistemas de TVAD que se han venido usando en el pasado y sus

parámetros y otros aspectos técnicos de conversiones a TV convencional para luego entrar en las dos recomendaciones:

1) que para la producción e intercambio internacional de programas de TVAD, debe utilizarse uno de los sistemas descritos en la parte 1 ó 2 de esta Recomendación (es decir, del documento BT-709)

2) que para la producción e intercambio internacional de programas de TVAD nuevos, se prefieren los sistemas descritos en la parte 2.

La parte 1 de la Recomendación describe los sistemas analógicos y digitales utilizados en el pasado de 1125 y 1250 líneas de barrido total con 1035 y 1152 líneas activas respectivamente y dicha parte 1 no será objeto de descripción en este artículo.

La parte 2 de la Recomendación describe primero el CIF (Common Image Format) que es el gran paso hacia un formato de imagen único que pueda tratarse analógica y digitalmente con la menor merma de calidad y que será común en todos los diversos formatos de TVAD del futuro.

## El CIF (Common Image Format)

Explícitamente el CIF consta de 1080 líneas activas y de 1920 píxeles por línea con una relación de aspecto de 16:9 y con píxeles cuadrados, es decir, sin reducción por el factor de Kell<sup>1</sup> y con todas las capas de muestreo ortogonales, es decir todos los píxeles verticalmente, horizontalmente, temporalmente y las tres capas de color están cosituadas, o sea, cada muestra de luminancia está tomada en la misma posición y tiempo que sus correspondientes muestras de crominancia.

El número de líneas totales pasa a ser de 1125 líneas de barrido total.

La transferencia opto-electrónica se admite como lineal pero se

aplica una pre-corrección no-lineal con un valor de gamma de 0,45. Es decir las cámaras actuales tienen transferencia lineal pero aún así se aplica una corrección gamma para pre-corriger la curva característica de las pantallas, de ahí que ya no se usa la letra gamma para definirla, si no que en los documentos se habla de pre-corrección no-lineal sin mencionar la gamma.

Las ecuaciones de la pre-corrección no-lineal están definidas en la recomendación ITU-R BT.1361 "Worldwide unified colorimetry and related characteristics of future Television and Imaging Systems" y simplificadas en ITU-R BT.709-5 como sigue:

Es lineal para valores de luminancia L comprendidos entre 0 y 0,018, siendo el voltaje:

$$E' = 4,5 \cdot L$$

Es no-lineal para valores de luminancia L comprendidos entre 0,018 y 1, siendo el voltaje:

$$E' = 1,099 \cdot L^{0,45} - 0,099$$

L representa la luminancia del píxel y se encuentra entre  $0 \leq L \leq 1$  y E' representa el voltaje de la señal eléctrica correspondiente a cada uno de los colores (corregido en gamma, como se decía antiguamente).

Las coordenadas cromáticas y el blanco de referencia se unifican en los conocidos como parámetros EBU (European Broadcasting Union), que según el diagrama CIE de 1931 se ilustra en la figura 16.

La recomendación ITU-R BT.1361 "Worldwide unified colorimetry and related characteristics of future Television and Imaging Systems" establece en los considerandos, que se requiere un una gama de colores más amplia que la utilizada actualmente para reproducir todos los colores naturales.

La ganancia de "gamut" a la que se refiere la ITU es respecto a la tricromía SMPTE donde se gana en los rojos, se gana un poco en el verde y un poco más en los azules.

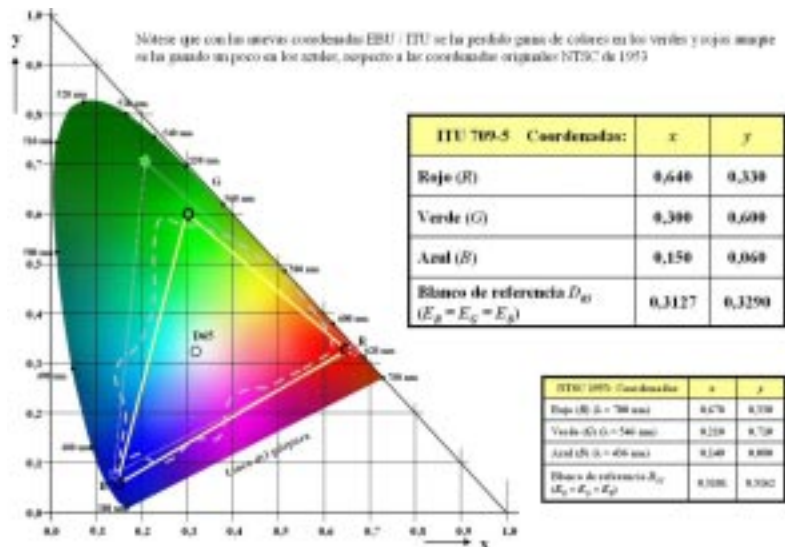


Figura 16. Colorimetría EBU para el CIF

También se gana un poco en el verde respecto a la tricromía PAL/SECAM pero desafortunadamente es una gama reducida respecto al antiguo sistema NTSC de 1953.

El triángulo de línea sólida de la figura 16 representa la gama de colores aceptados actualmente, es decir la colorimetría EBU o ITU-R BT.1361 mientras el triángulo de puntos finos representa la gama del sistema NTSC de 1953. Puede verse que se ha ganado en la zona de los azules, pero se ha perdido en las zonas de los rojos y mucho más en la de los verdes.

No obstante, los colores mostrados en la figura son solo orientativos y no representan la gama natural pues se han impreso usando métodos de imprenta convencionales y no hay forma de presentarlos de forma gráfica con la naturalidad debida, pues no existe ningún sistema de impresión o presentación en pantalla que pueda reproducirlos todos, lo máximo imprimible siempre es una gama cubierta por un triángulo en los sistemas de tricromía y otras superficies más amplias en otros sistemas de impresión.

Para más detalles sobre el "gamut" y la colorimetría puede consultarse la nota de Abacanto Digital "Utilidad de

los indicadores de GAMUT" disponible en [www.abacantodigital.com](http://www.abacantodigital.com).

Donde hay una notable diferencia respecto a los sistemas de color actuales es en el matizado de las tres señales primarias para formar la señal de luminancia y por tanto las de diferencia de color, así como los valores de reducción aplicados a estas para mantener un mismo valor de voltaje pico a pico en las tres señales de luminancia y crominancia. Todos los sistemas de TVAD futuros deberán tener los mismos valores, resumidos en la tabla nº 1.

### Más allá del CIF

La razón para hablar de diversos sistemas de TVAD cuando existe y está aceptado el CIF es que se consideran varias velocidades de presenta-

ción de imágenes con sus correspondientes variantes respecto al barrido.

El CIF define el formato de cada fotograma, la transferencia lumínica a eléctrica, la gama de colores y la conversión analógica/digital, pero no define cuantos fotogramas se transmiten por segundo ni como se barren.

Se contemplan los siguientes barridos y velocidades, 60 Hz, 50 Hz, 30 Hz, 25 Hz y 24 Hz, y también las versiones de 60 Hz, 30 Hz y 24 Hz divididos por 1,001; con lo que a estas 8 variantes hay que añadir el hecho que cada una puede presentarse en cada uno de los tres sistemas de barrido, Progresivo P, Entrelazado I o Progresivo de Imagen segmentada PsF; dando lugar a 24 posibles variantes, aunque no todas ellas están bajo consideración.

En lo que a España, o a la Unión Europea se refiere, y considerando el CIF, se consideran solamente los barridos de 50 I (25 imágenes por segundo entrelazadas), de 50 P (50 imágenes por segundo progresivas) y el de 25 PsF (25 P imágenes por segundo tomadas en formato progresivo y enviadas en formato segmentado), este formato se puede conseguir también a partir de originales tomados a 50 P imágenes por segundo y descartando uno de cada dos fotogramas.

Sin embargo la EBU propone el uso de un sistema que no usa el CIF y consta de 720 líneas activas y 1280 píxeles por línea como formato intermedio hasta pasar a la alta definición de 1080 líneas en un plazo de tiempo mayor.

Derivación de la señal de luminancia $E_Y$		$E_Y = 0,2126 E'_R + 0,7152 E'_G + 0,0722 E'_B$
Derivación de las señales analógicas de diferencia de color	$E'_{CB}$	$E'_{CB} = (E'_R - E'_G) / 1,8556 = (-0,2126 E'_R - 0,7152 E'_G + 0,9278 E'_B) / 1,8556$
	$E'_{CR}$	$E'_{CR} = (E'_R - E'_B) / 1,5748 = (0,7874 E'_R - 0,7152 E'_G - 0,0722 E'_B) / 1,5748$
Derivación de las señales digitales de color R, G, B	$D'_R$	$D'_R = \text{INT}[(219 E'_R + 16) \cdot 2^{24}]$
	$D'_G$	$D'_G = \text{INT}[(219 E'_G + 16) \cdot 2^{24}]$
	$D'_B$	$D'_B = \text{INT}[(219 E'_B + 16) \cdot 2^{24}]$
Derivación de las señales digitales de diferencia de color Y, $C_B$ y $C_R$	$D'_Y$	$D'_Y = \text{INT}[(219 E'_Y + 16) \cdot 2^{24}]$
	$D'_{CB}$	$D'_{CB} = \text{INT}[(224 E'_{CB} + 128) \cdot 2^{24}]$
	$D'_{CR}$	$D'_{CR} = \text{INT}[(224 E'_{CR} + 128) \cdot 2^{24}]$

Tabla nº 1. Derivación de las señales componentes a partir de las señales eléctricas corregidas en gamma  $E'_R$ ,  $E'_G$  y  $E'_B$

Parte de las discusiones para seleccionar uno u otro formato estriba en las dificultades tecnológicas para conseguir cada uno de ellos.

Por el lado de los difusores el costo de las instalaciones es menor si se toman 25 imág./seg. que si se toman 50 imág./seg., es decir, cámaras, telecines, etc., por otro lado los sistemas de almacenamiento como cintas, servidores, discos, etc. pueden almacenar el doble número de horas de programa si las señales se toman a la mitad de velocidad y además, los sistemas de distribución interno de la señal necesitan la mitad de ancho de banda con 25 imág./seg. que lo necesario con 50 imág./seg., se trata de pasar de 1,5 Gb/s de ancho de banda a la no despreciable velocidad 3 Gb/s para los cables coaxiales, fibras ópticas, equipos de distribución/conmutación, etc. y a la hora de comprimir las señales para la difusión posterior vía satélite, cable, terrestre, IP, etc. también se necesitan procesadores mas potentes en aquellos casos en que se necesite hacer la emisión en tiempo real, por ejemplo los deportes, los programas "cara al público", los noticiarios, etc.

Respecto a los usuarios hay que considerar el precio de las pantallas como el factor dominante.

La resolución que se defina afecta al número de píxeles y la dimensión de estos, es decir a la utilización de 720 líneas o de 1080, pero la selección del número de imágenes por segundo, debido a que la duración de la excitación eléctrica en cada uno de los luminóforos <sup>2</sup> es la mitad a 50 P que a 25 l o PsF afecta a la persistencia luminosa y por consiguiente a la consecución de las características de brillo y contraste deseados. La persistencia ha de estar bien controlada para evitar el "arrastre" ("smear" o efecto cometa) de imágenes en movimiento.

El precio de los descodificadores, que han de ser más rápidos en el caso de 50 P también afecta al precio total de los receptores, pero sin duda con menor importancia que el costo de las pantallas.

La tabla nº 2 presenta un resumen de los sistemas propuestos por la ITU y por la EBU y puede verse que el CIF se usa en los varios sistemas de la ITU, pero no en el formato de la EBU, en realidad solo en lo

que se refiere al número de líneas y de píxeles pues el formato de la EBU también usa la misma pre-corrección no-lineal y el mismo gamut (o tricromía) que la ITU, así como la composición de las señales y la digitalización.

No cabe duda de que el formato final será el de 1080 P/50 pero la tecnología actual está todavía limitada en alguno de sus aspectos y muy cara en algunos otros, por lo que se intuye una etapa de transición en la que cada compañía o cada país decidirá cual de los formatos intermedios se utilizan.

Considerando que todos los formatos indicados en la tabla nº 2 exceptuando el 1080 P/50 son de transición se trata de decidir cual de ellos se adopta de manera provisional. Aquí se proponen cuatro puntos de vista intermedios hasta llegar al punto de vista final:

*1 – EBU 720 P/50 (1,5 Gb/s)*

La recomendación que la EBU hace a sus miembros componentes es que adopten el 720 P/50 pues es el que más calidad subjetiva proporciona en diversas condiciones de secuencias de escenas y de sistemas de compresión. Sin embargo los

Tabla nº 2. Resumen de los sistemas de TVAD considerados en la actualidad

Características para barridos Europeos (ITU-R BT.709-5 / SMPTE-296M)				
Propone:	ITU			EBU
Relación de aspecto	16 : 9			
Barridos considerados:	50 / P	25 / P	25 / PsF	50 / I
Frecuencia de cuadros:	50 Hz	25 Hz		50 Hz
Número de líneas por imagen: Activas	1080			720
Número de líneas por imagen: Totales	1125			750
Frecuencia de líneas:	56.250 Hz	28.125 Hz		37.500 Hz
Nº de muestras de lumin. o RGE, por línea activa	1920			1280
Nº de muestras de lumin. o RGE, por línea. Total	2640			1950
Nº de muestras de crominancia, por línea activa	960			640
Nº de muestras de crominancia, por línea. Total	1320			990
Frecuencia de Muestreo (Mc/s) luminancia o RGE,	148.50 MHz	74.250 MHz		
Frecuencia de Muestreo (Mc/s) crominancia	74.25 MHz	37.125 MHz		
Anchura de banda nominal de luminancia MHz	60 MHz	30 MHz		
Anchura de banda nominal de crominancia MHz	30 MHz	15 MHz		

programas de producción propia que se realicen y graben en dicho sistema se podrán pasar al sistema final pero sin mejorar la resolución que quedará fijada por la captación de imagen realizada, aunque un remedio para esto sería captar y almacenar en 1080 P/50 y transmitir en 720 P/50.

Desde el punto de vista del espectador, se encontraría con que las pantallas de 720 líneas están apareciendo en el mercado a un precio asequible, por lo que se podría disponer ya de un sistema de TVAD funcional y asequible, pero cuando se realice la transición a 1080 P/50 tendrá que volver a comprar una pantalla de 1080 líneas, o seguir viendo las emisiones con una resolución reducida.

#### 2 – ITU 1080 I/50 (1,5 Gb/s)

Por otro lado el formato 1080 I/50 parece poco apropiado por los problemas bien conocidos, y que se sufren actualmente con el sistema de definición estándar, de disponer de dos campos que no coinciden en el tiempo y los problemas que esto conlleva en el procesado digital y en la compresión para la difusión.

#### 3 – ITU 1080 PsF/25 (1,5 Gb/s)

Hay, sin embargo, una solución intermedia en el formato 1080 PsF/25 que presentaría 25 imágenes igual que se haría con el 1080 I (o que se hace actualmente con el entrelazado de la definición estándar) pero sin el inconveniente indicado para el sistema entrelazado, es decir los dos campos, o segmentos, de una imagen proceden del mismo fotograma, con lo que el procesado digital queda simplificado y la compresión también.

Este formato en PsF tendría la ventaja respecto al propuesto por EBU que desde un principio las imágenes quedarían grabadas en la máxima resolución correspondiente al CIF aunque solo a 25 imágenes por segundo en lugar de 50.

Téngase en cuenta que la sensación de continuidad del movimiento es muy buena con 25 imá-

genes por segundo, pues los saltos o trompicones (jerkiness) no se aprecian demasiado en la TV actual ni en el cine con sus 24 imágenes por segundo y la presentación de cada imagen segmentada dando lugar a 50 campos por segundos seguiría dando una buena sensación frente al parpadeo (flicker). Pero si los receptores lo permiten, se puede recurrir al sistema de 100 Hz, bien conocido en la actualidad, y que mejoraría sus prestaciones al contar directamente con las señales en formato digital, es decir sería más efectivo (con menos defectos) que su versión analógica.

El intercambio internacional sería más sencillo por el uso del CIF y el paso al futuro de 50 / P sería tan simple como repetir dos veces cada fotograma. Con este formato para los estudios se tiene la mitad de ancho de banda que con el formato final, la mitad de ocupación de memoria y la economía que todo esto representa.

Respecto al usuario, si por unos años solo se dispone de pantallas de 720 P/50 a un precio asequible, es posible hacer la transmisión reduciendo la resolución a 720, pero conservando el material audiovisual original en su resolución máxima de 1080.

#### 4 – ITU 1080 P/50 pasado a PsF/50 (1,5 Gb/s)

Además el formato 1080 PSF/25 se puede obtener fácilmente a partir del formato final de 1080 P/50, pues basta con transmitir solo uno de cada dos fotogramas registrados a P/50, es decir, 25 fotogramas por segundo de modo segmentado para obtener los 50 campos en el receptor. Puede alegarse entonces que en este caso, en los estudios, se pasa directamente al formato final con los gastos que ello implica. Sin embargo hay que indicar que las cámaras de toma de imagen son elementos caros que no se sustituyen frecuentemente, y que hay cámaras que ya permiten la toma de imágenes a 1080 P/50.

Sería posible entonces dotar de estas cámaras solamente para aquellos servicios que se han de emitir en TVAD y aunque se almacenen los programas en P/25 (1,5 Gb/s), no sería necesario de forma inminente cambiar todos los demás elementos de distribución y almacenamiento de los estudios al formato de 3 Gb/s o de Dual link, dejando dichos cambios para cuando la tecnología lo permita a un precio razonable y se pueda llegar al formato final. Solo con la inversión en cámaras de 1080 P/50 pero usadas como 1080 PsF/25 se podría estar preparado en unas buenas condiciones para el paso siguiente.

#### 5 – ITU 1080 P/50 final (3 Gb/s)

El punto de vista final es el de llegar al formato final de tomar, almacenar y difundir en 1080 P/50 cuando la tecnología lo permita a un precio asequible.

## Conclusiones

Se ha revisado sucintamente la evolución de la TV a lo largo de la historia de los países occidentales desde los orígenes en B/N pasando por el color, la digitalización y la alta definición describiendo algunos de los parámetros importantes en la TV pero con especial incidencia en aquellos que afectan a la percepción humana y están, por tanto, relacionados con la resolución estándar, o actual de 625(576):25i y 4:3, y la alta resolución que quizás acabe siendo aceptada en Europa con el formato de 1080:50p y 16:9; o con el de 720:50p, 16:9.

Las razones para pasar desde la resolución actual a la de alta definición se basan principalmente en el deseo de disponer de pantallas de gran tamaño y disponer de una calidad, en la corta distancia, lo más parecida a la conseguida en las salas de proyección de cine. La aproximación al cine ya se consigue con el sonido de seis u ocho canales en sus diversas versiones y el paso a disfrutar de dicha calidad "de cine"

para las imágenes está en el uso de mayor resolución con pantallas grandes y distancias cortas.

Algunas compañías que producen programas, dramáticos, documentales, musicales, etc. vienen registrando ya en TVAD desde hace algunos años aunque luego se emiten en resolución estándar, pero se distribuyen en disco en formatos de TVAD.

Los deportes pueden ser los que den el "empujón" definitivo para la adopción de un sistema de TVAD para ser usado en la difusión, tanto terrestre como por cable y satélite.

En EEUU ya se adoptó hace unos 8 años la difusión terrestre digital de TVAD con el sistema ATSC, mientras que en Europa no se ha dado tanto impulso al desarrollo de la TVAD, aunque la tecnología de difusión está lista por los sistemas DVB desde hace también unos 10 años.

Solo falta el impulso comercial, que viene a estar condicionado por el desarrollo tecnológico (y en definitiva de precios) de las pantallas de presentación, de las cuales ya existen diversos modelos con el anagrama "HD Ready" y por las decisiones gubernamentales de promocionar la difusión terrestre de TVAD.

Actualmente se consideran tres formatos principalmente para adoptar la TVAD en Europa que son el de 720 líneas con barrido progresivo, y el de 1080 líneas con los dos tipos de barrido: entrelazado y progresivo.

El mayor costo en la adopción de un sistema de transición o de ir a un sistema definitivo está en la inversión de los estudios de producción y en la parte correspondiente a los espectadores relativa a los costos de las pantallas de TVAD.

Los resultados de las recomendaciones de organismos internacionales, como la EBU, la ITU, la

SMPTÉ y de los foros nacionales que establecen en cada país ayudarán a tomar las decisiones más adecuadas para asegurar una buena transición de la TV estándar a la TVAD.

### Notas al margen

1) Hay muchos parámetros de los estudiados en los años 40 que no se han comentado en la primera parte de este artículo y entre ellos están los diversos esfuerzos para reducir el ancho de banda ocupado por la señal. Uno de ellos consistía en reducir la resolución horizontal de la imagen por un factor conocido por el nombre de uno de los componentes (Kell) del grupo de la RCA que lo propuso.

En el sistema PAL de 625 líneas dicho factor Kell es de 0,678 con lo que se reduce el ancho de banda desde 7,375 MHz, que serían necesarios para tener la misma resolución horizontal que vertical, a los conocidos 5 MHz que requiere dicho sistema. Esto se puede expresar también indicando que los píxeles del sistema PAL (también ocurre en el sistema NTSC) son rectangulares, más anchos que altos, en lugar de ser cuadrados.

2) Generalización de la palabra fósforo que se usaba en los TRCs de blanco y negro, para in-

cluir otros materiales usados en los tubos de color y actualmente para incluir otras tecnologías

### Anexo 1: La proporción áurea

Puede considerarse que Euclides fue un gran sistematizador del conocimiento matemático griego y con sus trece volúmenes titulados "Elementos" pasó a la posteridad como uno de los grandes matemáticos de la historia.

Su geometría basada en sus cinco axiomas y cinco postulados se mantuvo durante más de 2.000 años sin rival. Partiendo de su quinto postulado, y suponiendo que no se cumpla, aparecen dos nuevas geometrías en el siglo XIX, la geometría esférica de Lambert y la hiperbólica de Lovachesky que parece ser la que en los últimos años se está considerando como geometría "real" del universo. Volviendo a la Grecia antigua conviene señalar que la geometría griega consideraba los números como el resultado de comparar longitudes, es decir de una forma relativa, y dicho resultado se expresaba como la razón o proporción entre dos longitudes en lugar de considerar el valor absoluto de las mismas, por ello no necesitaban definir unidades de medida como el metro o la milla.

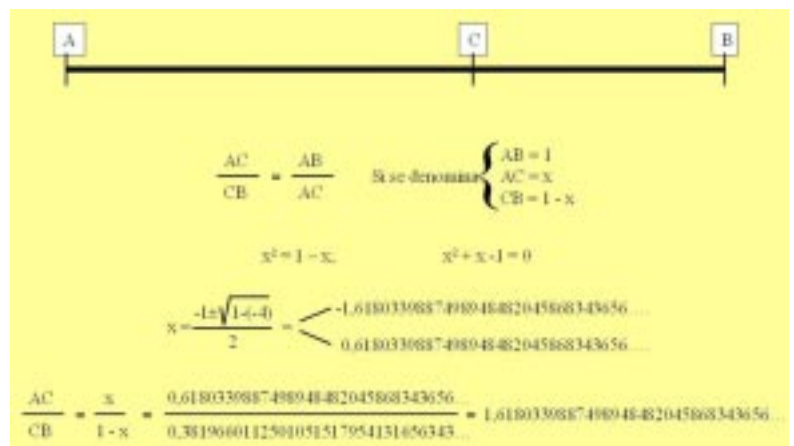


Figura 17. La proporción áurea

Euclides definió una proporción por la división de un segmento en lo que denominó "su media y extrema razón" que consiste en dividir el segmento AB por un punto C situado de modo que la parte mayor AC es a la parte menor CB como el total AB es a la parte mayor AC (fig 17.).

Esta proporción se ha venido en denominar "Proporción áurea" y esta presente en muchos aspectos de la naturaleza, de la geometría (en relación con el pentágono y el pentagrama o estrella regular de cinco puntas) y del mundo del arte, ya que se tomó por muchos artistas, incluidos Leonardo da Vinci y Dalí, como proporción muy adecuada para proporciones en diversas composiciones artísticas, y hoy se sigue empleando mucho pues es la relación entre la anchura y la altura de las tarjetas de crédito, del carnet de identidad, etc..

En la literatura matemática especializada se ha venido usando como símbolo para la Proporción Áurea la letra griega tau  $\tau$ , pero a principios del siglo XX, el matemático estadounidense Mark Barr le asignó el nombre de la letra phi  $\Phi$  en honor del gran escultor griego Fidias, que vivió hacia el 490 al 430 a.C. y que fue el autor del Partenón de Atenas y de la escultura de Zeus del templo de Olimpia.

El número  $\Phi$  es uno de los primeros números irracionales conocidos y el descubrimiento de que la Proporción Áurea es un número irracional representó el descubrimiento de la inconmensurabilidad. Otros números irracionales conocidos por los griegos eran la raíz de dos y el número  $\pi$

Nota: Datos tomados principalmente del estupendo libro "La Proporción Áurea. La historia de phi, el número más sorprendente del mundo" del Doctor Mario Livio, Director de la División de Ciencias del Hubble Space Telescope Science Institute. Editorial ARIEL.

### Anexo 2: La proporción pitagórica

Una corriente de pensamiento en la Grecia antigua fue la de los pitagóricos, que siguieron las enseñanzas de Pitágoras en todos los aspectos filosóficos, entre los que se encontraban los que actualmente se incluyen en las ciencias como la astronomía y particularmente la geometría.

Aunque se atribuye a Pitágoras el célebre teorema sobre los triángulos rectángulos, no se sabe con certeza quién es el autor, pues parece ser que también la cultura egipcia anterior a Pitágoras lo conocía.

Sin embargo se suele seguir denominando como "El teorema de Pitágoras" al que relaciona las dimensiones de los dos catetos de un triángulo rectángulo con su hipotenusa. El teorema dice que: "El cuadrado de la longitud de la hipotenusa de un triángulo rectángulo es igual a la suma de los cuadrados de las longitudes de los catetos"

La figura (18) muestra una representación gráfica de la proporción de un triángulo rectángulo cuyos catetos de 3 y 4 unidades dan como resultado que la suma de los cuadrados respectivos  $9 + 16 = 25$  da como resultado una cifra igual al cuadrado de la hipotenusa.

El caso particular de los números 3, 4 y 5 es un triple pitagórico y representan la relación de aspecto que se utilizó en la TV convencional por muchos años.

Demostración gráfica del teorema de Pitágoras (fig.19), en los dos cuadrados iguales representados por B y C, la suma del área de los cuatro triángulos 1, 2, 3 y 4 suman lo mismo, por lo que el área restante en ambos casos es también igual, es decir,  $c^2$  es igual a la suma de las áreas  $a^2$  y  $b^2$ .

Figura 18. La proporción pitagórica

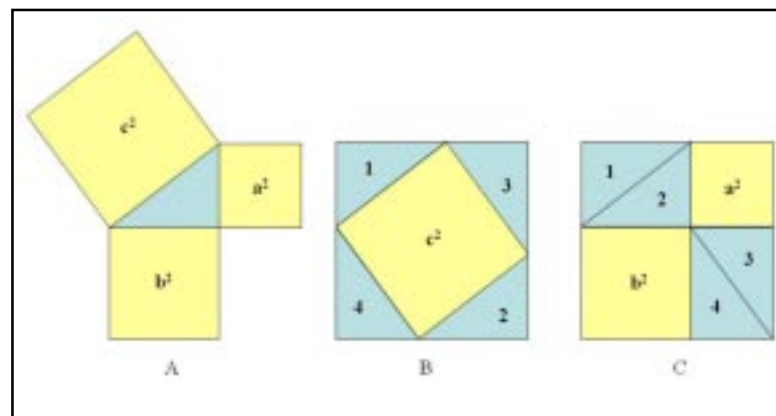
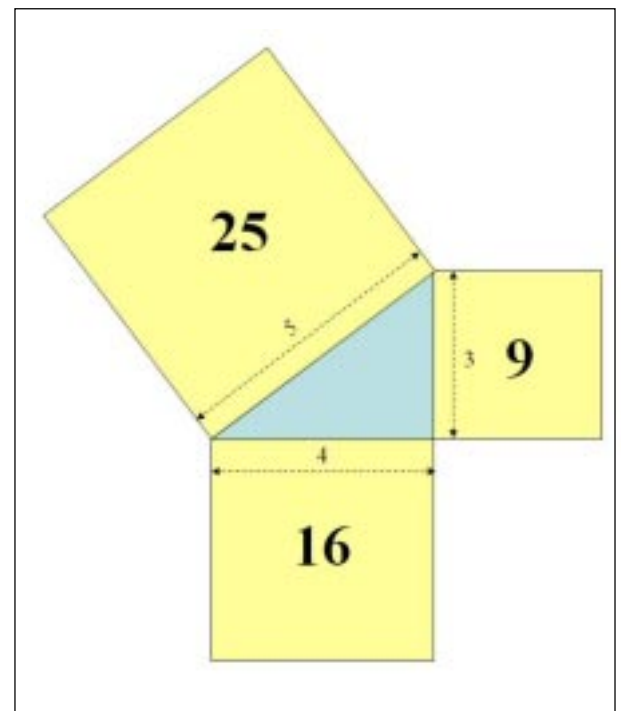


Figura 19. Demostración gráfica del teorema de Pitágoras