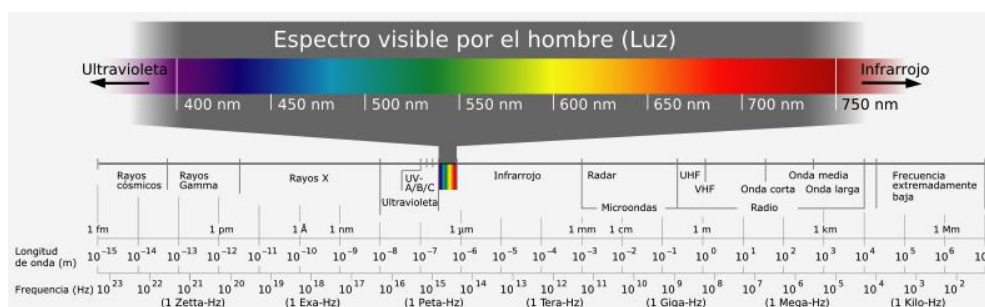


# REPRESENTACIÓN DEL COLOR

Línea de Telemedicina  
Universidad Nacional de Colombia

## 1. Introducción

**¿Qué es el Color?** El color es un atributo de los objetos que se percibe cuando sobre éstos incide un rayo de luz. Los objetos absorben una parte de las ondas de luz y refleja las restantes, las cuales son luego absorbidas por el ojo e interpretadas por el cerebro como colores; la longitud de dichas ondas están comprendidas entre 380nm y 740nm. A este intervalo se le conoce como espectro electromagnético. Para que el ojo perciba esta característica de los objetos, la iluminación debe ser abundante; de lo contrario, solo podrá ver los objetos a blanco y negro. figura??



## 2. Bases biológicas de los colores primarios

Los colores primarios están más relacionados con conceptos biológicos que físicos, basados en la respuesta fisiológica del ojo humano a la luz. En la retina del ojo existen millones de células especializadas en detectar las longitudes de onda procedentes de nuestro entorno.

Estas células fotorreceptoras, los conos y los bastoncillos, recogen parte del espectro de luz solar y lo transforman en impulsos eléctricos, que son enviados al cerebro a través de los nervios ópticos, siendo estos los encargados de crear la sensación del color.

Existen grupos de conos especializados en detectar y procesar un color determinado, siendo diferente el total de ellos dedicados a un color y a otro. Los conos normalmente responden mejor a los colores amarillo verdoso, verde y azul (longitudes de onda de 564nm, 534nm y 420nm respectivamente).

Por ejemplo, existen más células especializadas en trabajar con las longitudes de onda correspondientes al rojo que a ningún otro color, por lo que cuando el entorno en que nos encontramos nos envía demasiado rojo se produce una saturación de información en el cerebro de este color, originando una sensación de irritación en las personas.

Cuando el sistema de conos y bastoncillos de una persona no es el correcto se pueden producir una serie de irregularidades en la apreciación del color, al igual que cuando las partes del cerebro encargadas de procesar estos datos están dañadas. Esta es la explicación de fenómenos como el Daltonismo: una persona daltónica no aprecia las gamas de colores en su justa medida, confundiendo los rojos con los verdes. figura??

Debido a que el proceso de identificación de colores depende del cerebro y del sistema ocular de cada persona en concreto, podemos medir con toda exactitud la longitud de onda de un color determinado, pero el concepto del color producido por ella es totalmente subjetivo, dependiendo de la persona en sí. Dos personas diferentes pueden interpretar un color dado de forma diferente, y puede haber tantas interpretaciones de un color como personas hay.



Aunque no ocurren respuestas máximas de los conos con las longitudes de onda en el rojo, verde y azul, esos tres colores se conocen como primarios porque pueden ser utilizados relativamente de forma independiente para estimular tres clases de conos.

El mecanismo de mezcla y producción de colores producido por la reflexión de la luz sobre un cuerpo no es el mismo al de la obtención de colores por mezcla directa de rayos de luz.

**Modelo básico de color RYB:** En el modelo de color RYB, el rojo, el amarillo y el azul son los colores primarios, y en teoría, el resto de colores puros (color materia) puede ser creado mezclando pintura roja, amarilla y azul. Mucha gente aprende algo sobre color en los estudios de educación primaria, mezclando pintura o lápices de colores con estos colores primarios. Figura??



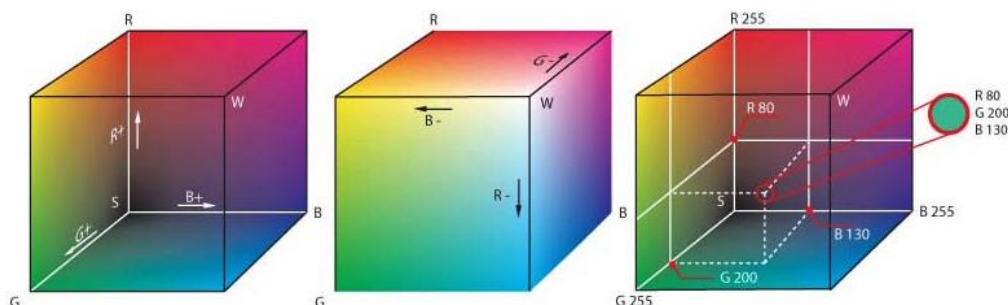
El modelo RYB es utilizado en general en conceptos de arte y pintura tradicionales, y en raras ocasiones usado en exteriores en la mezcla de pigmentos de pintura. Aún siendo usado como guía para la mezcla de pigmentos, el modelo RYB no representa con precisión los colores que deberían resultar de mezclar los 3 colores RYB primarios. En el 2004, la ciencia reconoció que este modelo es incorrecto, pero continúa siendo utilizado habitualmente en arte.

Tradicionalmente los colores se han representado en una rueda de 12 colores: tres colores primarios, tres colores secundarios (creados por la mezcla de dos primarios), y seis colores terciarios (la mezcla de los colores primarios y los secundarios). Los artistas utilizan un círculo cromático basado en el modelo RYB (rojo, amarillo y azul) con los colores secundarios naranja, verde y violeta.

Para todos los colores basados en un ordenador, se utiliza la rueda RGB; ésta engloba el modelo CMY ya que el cian, el magenta y el amarillo son colores secundarios del rojo, verde y azul (a su vez, éstos son los colores secundarios en el modelo CMY). En la rueda RGB/CMY, el naranja es un color terciario entre el rojo y el amarillo, y el violeta es otro terciario entre el magenta y el azul.

**Espacios de color:** Un espacio de color define un modelo de composición del color. Por lo general un espacio de color lo define una base de N-vectores (por ejemplo, el espacio RGB lo forman 3 vectores: Rojo, Verde y Azul), cuya combinación lineal genera todo el espacio de color.

Los espacios de color más generales intentan englobar la mayor cantidad posible de los colores visibles por el ojo humano, aunque existen espacios de color que intentan aislar tan solo un subconjunto de ellos. Figura??



Existen espacios de color de:

- Una dimensión: Escala de grises, escala Jet, etc.
- Dos dimensiones: sub-espacio rg, sub-espacio xy, etc.
- Tres dimensiones: espacio RGB, HSV, YCbCr, YUV, YT'Q', etc.
- Cuatro dimensiones: espacio CMYK...

En los espacios de color de 3 dimensiones (los más extendidos y utilizados), un color se especifica usando tres coordenadas, las cuales representan su posición dentro de un espacio de color específico. Estas coordenadas no nos dicen cuál es el color, sino que muestran dónde se encuentra un color dentro de un espacio de color en particular.

### 3. RGB y Monitores

RGB (del inglés Red, Green, Blue; *rojo, verde, azul*, es conocido como un espacio de color aditivo (colores primarios) porque cuando la luz de dos diferentes frecuencias viaja junta, desde el punto de vista del observador, estos colores son sumados para crear nuevos tipos de colores.

Los colores rojo, verde y azul fueron escogidos porque cada uno corresponde aproximadamente con uno de los tres tipos de conos sensitivos al color en el ojo humano (65 % sensibles al rojo, 33 % sensibles al verde y 2 % sensibles al azul).

Con la combinación apropiada de rojo, verde y azul se pueden reproducir muchos de los colores que pueden percibir los humanos. Por ejemplo, rojo puro y verde claro producen amarillo, rojo y azul producen magenta, verde y azul combinados crean cian y los tres juntos mezclados a máxima intensidad, crean el blanco.

Para indicar con qué proporción se mezcla cada color, se asigna un valor a cada uno de los colores primarios, de manera, por ejemplo, que el valor 0 significa que no interviene en la mezcla y, a medida que ese valor aumenta, se entiende que aporta más intensidad a la mezcla.

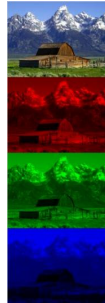
Aunque el intervalo de valores podría ser cualquiera (valores reales entre 0 y 1, valores enteros entre 0 y 37, etc.), es frecuente que cada color primario se codifique con un byte (8 bits). Así, de manera usual, la intensidad de cada una de las componentes se mide según una escala que va del 0 al 255.

Figura??

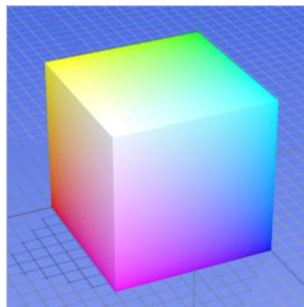
Por lo tanto, el rojo se obtiene con (255,0,0), el verde con (0,255,0) y el azul con (0,0,255), obteniendo, en cada caso un color resultante monocromático. La ausencia de color **lo que nosotros conocemos como color negro** se obtiene cuando las tres componentes son 0, (0,0,0).

La combinación de dos colores a nivel 255 con un tercero en nivel 0 da lugar a tres colores intermedios. De esta forma el amarillo es (255,255,0), el cian (0,255,255) y el magenta (255,0,255). Figura??

Obviamente, el color blanco se forma con los tres colores primarios a su máximo nivel (255,255,255).



El conjunto de todos los colores se puede representar en forma de cubo. Cada color es un punto de la superficie o del interior de éste. La escala de grises estaría situada en la diagonal que une al color blanco con el negro. Figura??



## 4. RGB y su uso en el video

Un uso común del modelo del color RGB es la exhibición de colores en un tubo de rayos catódico, un monitor de cristal líquido, o una proyección de plasma, como por los monitores de un computador o un televisor. Cada píxel en la pantalla puede ser representado en la memoria del computador como valores independientes para el rojo, verde y azul.

Estos valores se convierten en intensidades y se envían a la pantalla. Al usar la combinación apropiada de las intensidades de luz del rojo, verde y azul, la pantalla puede reproducir muchos de los colores entre su nivel negro y blanco.

Las pantallas típicas de los computadores en 2003 usan un total de 24 bits de información para cada píxel (conocido comúnmente como bits por píxel o bpp en su sigla en inglés). Esto corresponde a 8 bits cada uno para color primario rojo, verde y azul, dando una gama de 256 valores posibles, o de intensidades, para cada color. Con este sistema, pueden ser reproducidos aproximadamente 16.7 millones de colores discretos. Figura?? Los formatos de la señal del RGB se basan a menudo en versiones modificadas de los estándares RS-170 y RS-343 para el vídeo monocromático. Este tipo de señal se utiliza extensamente en Europa puesto que es la mejor calidad de señal.



Fuera de Europa, el RGB no es muy popular como formato de video, el S-Video toma ese punto en regiones por fuera de Europa. Sin embargo, casi todos los monitores de los computadores alrededor del mundo utilizan el RGB.

**32bits por píxel:** Existe una concatenación de 8bits para las tonalidades de rojo, 8 bits para las de verde y 8bits para las azul como en la configuración 24 bpp pero añade a la concatenación 8bits para el canal alpha, que es el grado de transparencia de ese pixel. Los valores extremos son 0 que es transparente y 255 que es opaco. Este formato gráfico se usa sobre todo en la aplicaciones multimedia como puede ser los videojuegos, porque no aporta más colores sino más bien un método de trabajo con ese pixel.

**Canal Alfa:** Este canal, se encarga de añadir un cuarto valor a cada pixel (aparte del rojo verde y azul) contiene información para cambiar características de los objetos. La composición alfa se utiliza para dar niveles de transparencia, de manera que cabe la posibilidad de simular la distorsión que causan los cuerpos translúcidos.

## 5. Modos de representaciones

**Representación 24-bit:** Cuando están escritos, los valores del RGB en 24 bpp se especifican comúnmente usando tres números enteros entre 0 y 255, cada representación muestra las intensidades de rojo, verde, y azul, en ese orden. Por ejemplo:

- (0, 0, 0) es negro
- (255, 255, 255) es blanco
- (255, 0, 0) es rojo
- (0, 0, 255) es azul
- (255, 255, 0) es amarillo
- (0, 255, 255) es cian
- (255, 0, 255) es magenta

La definición anterior utiliza a convención conocida como "full-range RGB". Típicamente, el RGB para el vídeo digital no muestra la gama completa. En su lugar, el vídeo RGB utiliza a convención con el escalamiento y compensa de tal forma que (16, 16, 16) es negro, (235, 235, 235) es blanco, etc. Por ejemplo, se utilizan estos escalamientos y compensaciones para la definición digital del RGB en el estándar CCIR 601.

**Modo 16-bit:** El "modo 16-bit" puede también referir a 16 bits por componente, dando por resultado 48 bpp. Este sistema permite representar 65535 tonos de cada componente en vez de 255. Esto se utiliza sobre todo en ediciones de imágenes a nivel profesional, para mantener mayor precisión cuando se emplea una secuencia de varios filtros al momento de la edición.

Con solamente 8 bits por el componente, el redondeo tiende a acumular los errores que se aumentan con cada algoritmo de filtros que se emplean, esto resulta en una alteración de la imagen.

Hay también un modo de 16 bpp, en el cual hay 5 bits por color, llamado modo 555, y un bit adicional para el verde, llamado el modo 565. Los 24 bpp el modo típicamente se llama "Truecolor", mientras que el modo de 16 bpp se llama "HiColor".

**Modo 32-bit:** El supuesto modo de 32bpp es casi siempre idéntico en la precisión al modo 24bpp, allí sigue siendo solamente ocho bits por componente, los ocho bits adicionales no se utilizan en todos los formatos de archivos (excepto posiblemente como canal alfa).

La razón de la existencia de los modos 32bpp es la velocidad más alta en qué hardware más moderno puede tener acceso a los datos, que se alinean con las direcciones del octeto uniformemente divisible por una potencia de dos, comparada a los datos no alineados.

## 6. RGBA

Con la necesidad de la composición digital de las imágenes, vino una variante del RGB el cual incluye un canal de 8 bit suplementario para la transparencia, así dando por resultado 32 bpp. El canal de la transparencia se conoce comúnmente como el canal alfa, tal formato se nombra RGBA. Esto no cambia cualquier información dentro el modelo del RGB, el RGBA no es un modelo distinto del color, es solamente un formato del archivo el cual integra la información de la transparencia junto con la información del color dentro el mismo archivo.

## 7. Composición Alpha

La composición alfa es el proceso de combinación de una imagen con un fondo para crear la apariencia de transparencia parcial. Es utilizado muy a menudo para renderizar (generar una imagen 2D a partir de una escena 3D) elementos de una imagen en pasos separados y después combinar el resultado múltiple en una sola imagen, esta imagen final es una composición. Un ejemplo de esto es cuando utilizamos imágenes renderizadas en el computador que antes modelamos en un software para creación de objetos 3D, con fondos reales. Para el almacenamiento de la información de esta opacidad, se introdujo el concepto del canal alpha por A.R. Smith a finales de los años 70, el cual se desarrolló por completo en 1984 en la publicación Composición de imágenes digitales por Thomas Porter y Tom Duff.

Un orden para combinar esos elementos de las imágenes es necesario para mantener una asociación de opacidad para cada elemento. Esta opacidad contiene información del fondo (como la forma de la geometría antes del dibujo) haciendo posible distinguir entre las partes de la imagen donde la geometría fue recientemente modificada y otras partes de la imagen que se encuentran vacías o sin modificaciones.

Por ejemplo, la composición es muy usada cuando se combina imágenes generadas por computador con imágenes de la vida real para efectos en cine, edición en publicidad, etc. Para combinar de forma correcta estas imágenes, es necesario para cada elemento mantener asociada una opacidad. Esta opacidad permite distinguir diversas partes dentro de la figura como los espacios que están *vacíos* (fondo blanco). La composición alfa se utiliza para dar niveles de transparencia, de manera que cabe la posibilidad de simular la distorsión que causan los cuerpos translúcidos o el agua.

En una imagen de 2D que almacena un color en cada pixel, se almacena adicionalmente otro valor dentro del canal alpha que contiene un número entre 0 y 1. Un valor de 0 significa que ese pixel no tiene información de la opacidad (por tanto del fondo de la imagen), es decir es totalmente transparente y un valor de 1 significa que ese pixel es totalmente opaco.

En resumen, el canal alfa se usa como un canal de opacidad. Si un píxel tiene un valor de cero por ciento en su canal alfa, es completamente transparente (y, entonces es invisible), mientras que si posee un valor de cien

por ciento en el canal alfa, el píxel es completamente opaco. Los valores entre 0 por ciento y 100 por ciento hacen posible que los píxeles posean un fondo como un vidrio (translucidez), un efecto que no sería posible con binarios simples (transparente u opaco). La opacidad por tanto declara que tan opaco es un elemento.

Si un canal alfa es usado en una imagen, es posible que también se multiplique el color por el valor del alfa, en orden para guardar sobre multiplicaciones adicionales durante el proceso de composición. Esto se refiere usualmente al alfa premultiplicado. De esta manera, asumiendo que el color del píxel está expresado en RGB, un valor de un píxel de (0.0, 1.5, 0.0, 0.5) implica un píxel que está lleno de verde y tiene 50 por ciento de fondo.

Con la existencia de un canal alfa es más fácil expresar componentes útiles en las operaciones con imágenes (figura??), usando el componente algebraico definido por Duff y por Porter. Por ejemplo, dados dos componentes de una imagen A y B, la operación de composición mas común es combinar los elementos, que A aparezca en el frente de la imagen y B quede en el fondo, esto puede ser expresado A Over B. En adición de Over, Porter y Duff definieron los operadores de composición In, Out, Atop y Xor, (y las operaciones inversas rOver, rIn, rOut, and rAtop).

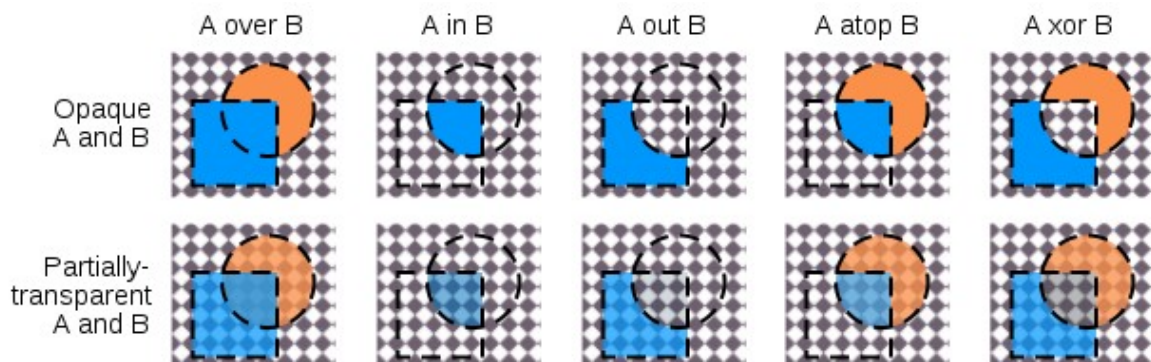


Figura 1: Ilustración de las operaciones en composición alfa

El operador Over es, en efecto, la operación normal de pintura. El operador In es el componente alfa equivalente de recorte. Es decir, un canal alfa ofrece una forma de almacenar imágenes y su información de transparencia en un solo archivo sin interferir en los canales de color.

Ejemplo de visualización de una barra de color utilizando los valores RGBA:

1. `rgba(255, 0, 0, 0.2)`
2. `rgba(255, 0, 0, 0.4)`
3. `rgba(255, 0, 0, 0.6)`
4. `rgba(255, 0, 0, 0.8)`
5. `rgba(255, 0, 0, 1)`

Y la visualización obtenida es (figura??):

## 8. No linealidad (Non-linearity)

Lo que conocemos como *luz*, es nuestra percepción de la radiación electromagnética (EM) que es captada por el ojo y trasladada por el nervio óptico hasta el cerebro, donde crea una mezcla de sensaciones que son las *imágenes* que *vemos*. Esta sensación es cualitativa, matiz o coloración (colourfulness); saturación (cuanto color



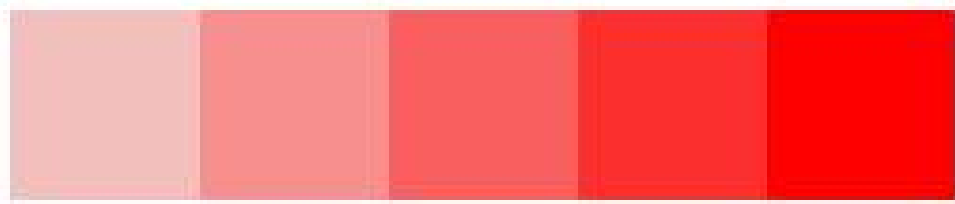








Figura 2: Diferencias observadas por el cambio en el valor alfa

de cada matiz), y cuantitativa, brillo (brightness); cuanta luz. La sensación producida por esta radiación dista mucho de ser uniforme y objetiva (igual para todas las personas). Además, la sensación luminosa de una imagen se ve influenciada grandemente por las condiciones ambientales.

La distribución cromática de la luz solar es aproximadamente igual para todas las frecuencias del espectro visible, es la denominada *luz día*. En cambio, la distribución de otras fuentes luminosas artificiales, como lámparas de tungsteno (incandescentes) o de neón (fluorescentes), es asimétrica; tienen preponderancia ciertos colores frente a otros. Es la llamada *luz artificial* de la que existen varios tipos.

El ojo humano solo es sensible a un estrecha gama de frecuencias de espectro electromagnético (aproximadamente 4.2-7.5  $10^{14}$  Hz ). Entre ambas longitudes de onda percibimos los diferentes colores del arco iris, el denominado espectro visible, que es una ínfima parte del total del espectro. Las longitudes de onda de los colores principales son aproximadamente las siguientes (figura??):

<b>Violeta</b>		400-440 nm	<b>Amarillo</b>		530-590 nm
<b>Azul</b>		440-480 nm	<b>Naranja</b>		590-630 nm
<b>Verde</b>		480-530 nm	<b>Rojo</b>		630-700 nm

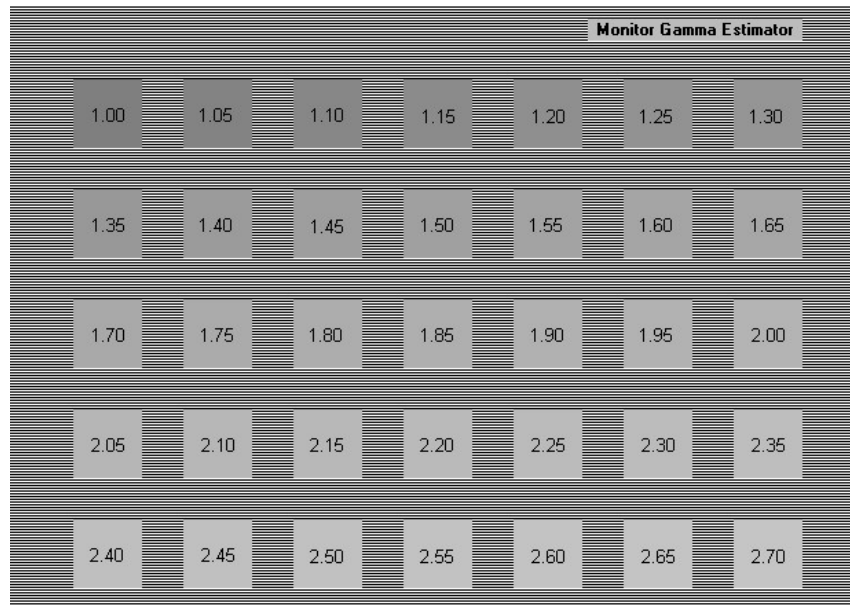
Por otra parte, la resolución monocromática del ojo es mucho mayor que la cromática. Dicho en otras palabras: podemos distinguir mucho mejor diferencias de tono en la escala de grises que entre escalas de color. Además, cuando los detalles se van haciendo más y más pequeños el ojo deja de poder detectar las diferencias de color, llegando un punto en que se vuelve virtualmente ciego para los colores, aunque aún puede distinguir diferencias de brillo. Un aspecto curioso de la percepción humana de la luz es la no linealidad de la respuesta del ojo a las variaciones de luminosidad, o dicho en otras palabras, la sensibilidad humana a sus variaciones no es lineal, sino prácticamente logarítmica. Esto explica que la luminosidad aparente de un objeto que tenga el 50 por ciento de la luminosidad real otro, no se percibe como la mitad de luminoso. De hecho basta una reducción del 18 por ciento de la luminosidad entre dos objetos para que la luminosidad aparente de uno parezca la mitad del otro.

De esta misma forma, la intensidad de la salida del color que se muestra en la pantalla de la computadora, demuestra que los dispositivos no son normalmente proporcionales a los valores R, G, y B. Es decir, aunque un valor de 127 esta muy cerca de a medio camino entre cero y 255, la intensidad de luz de un dispositivo de exhibición de la computadora cuando es (127, 127, 127) normalmente solamente muestra el 18 por ciento de su color verdadero.

La luz que emite la pantalla de un televisor o monitor de televisión, la que genera el tubo de rayos catódicos (TRC) debería ser directamente proporcional a la luz que incidió, durante el proceso de captación de la imagen, en el tubo de cámara o CCD.



Teóricamente, la respuesta debería ser lineal, no obstante, se ha demostrado empíricamente que esta respuesta siempre es no lineal (figura??). La alinealidad del sistema se debe a que el perfil del haz de electrones tiene forma gaussiana lo que limita la resolución vertical efectiva.



Para corregir la alinealidad del receptor de televisión se introduce artificialmente una distorsión opuesta que es la llamada **corrección gamma**.

## 8.1. Corrección gamma

La corrección gamma es una forma especial de aumento de contraste diseñada para mejorar el contraste en áreas muy claras o muy oscuras. Esto se logra modificando los valores medios, particularmente los medios-bajos, sin afectar el blanco (255) ni el negro (0). Puede utilizarse para mejorar el aspecto de una imagen, o para compensar el rendimiento de diferentes dispositivos frente a una imagen. Se puede realizar la corrección sobre el valor de luminosidad o sobre un determinado color (RGB) en particular.

Un valor gamma de 1 es equivalente a la curva de intensidad original. Un aumento en este valor, aclara la imagen y aumenta el contraste en las áreas más oscuras. Un valor menor a 1 la oscurece y enfatiza el contraste en las áreas mas claras.

El valor necesario para obtener la corrección gamma se ha estandarizado en 0,45, para los tubos de cámara, ya que aplicando este factor de corrección se logra la linealidad del sistema. Pero la gamma, además de poder ser corregida en el momento de la captación, se puede corregir en varios puntos del sistema, para posibilitar que se pueda adecuar la corrección gamma a las condiciones lumínicas de la escena.

### 8.1.1. Imagen de ajuste para Gamma

Para determinar el valor aproximado de Gamma en un monitor se utiliza una imagen que tiene un trasfondo con 50 por ciento de puntos grises, en un cuadrulado, pero de gran resolución, y sobre ese trasfondo una sucesión ordenada de cuadros grises de luminosidad de 50 por ciento. El cuadro que más se confunda con el trasfondo tiene la mejor estimación de Gamma.

**Ejemplo:** Con la siguiente imagen (figura??)es posible aproximar el valor de Gamma, se debe determinar cual de los cuadrados se confunde (mejor) con el trasfondo. El número que esta sobre el cuadro es el valor de Gamma para su monitor. El valor Gamma de un monitor de un computador personal debería estar entre 2.05 y 2.30 -

El óptimo es 2.20. Para un monitor de Apple-Macintosh el valor Gamma debería estar entre 1.75 y 1.90. Si el valor Gamma de su monitor se aleja del rango, pareciera ser, entonces, que su monitor ha envejecido demasiado o esta mal calibrado.

