

## CAPÍTULO V

### EL COLOR

#### 5.0 INTRODUCCIÓN

Hemos afirmado en capítulos anteriores que el color era la más poderosa de las variables visuales y que merecía un tratamiento en profundidad. El extenso tratamiento que daremos al color en este capítulo se debe al importante rol que juega en la visualización y categorización de la información gráfica. El uso adecuado del color permite observar relaciones existentes en los conjuntos de datos que son difíciles de observar de otra forma y por el contrario, el mal uso del color induce al lector no solamente a que esas relaciones pasen despercebidas sino a obtener conclusiones erróneas. Realizaremos un recorrido desde el sistema visual humano y sus limitaciones hasta las últimas herramientas utilizadas en la presentación de la información gráfica.

#### 5.1 EL COLOR

La visión es un complicado proceso perceptivo en el que intervienen diversos órganos que interactúan para ofrecernos una detallada información de lo que ocurre en el espacio que nos rodea. Esos órganos que trabajan al unísono son el ojo, que es el encargado de la recepción de la luz, el nervio óptico que actúa de transmisor de la información y el cerebro que la procesa y nos informa sobre tamaños relativos de los objetos, distancias, movimientos y colores.

El color es el resultado perceptual de la incidencia sobre nuestra retina de una radiación electromagnética cuya longitud de onda esté comprendida entre los 370 y los 730 nm. Este rango, en términos prácticos se establece entre 400 y 700 nm (1 nm equivale a  $10^{-6}$  mm).

Equivocadamente se habla del “color de los objetos” o del “color de la luz” cuando lo que existe es un estímulo que provoca en nuestra percepción las sensaciones de color. Ya Isaac Newton afirmó “Indeed rays, properly expressed, are not colored” (Hablando con propiedad, los rayos no tienen color).

El color es una experiencia perceptiva extremadamente subjetiva y personal y es muy difícil intentar plasmar con números las reacciones del cerebro a los estímulos visua-

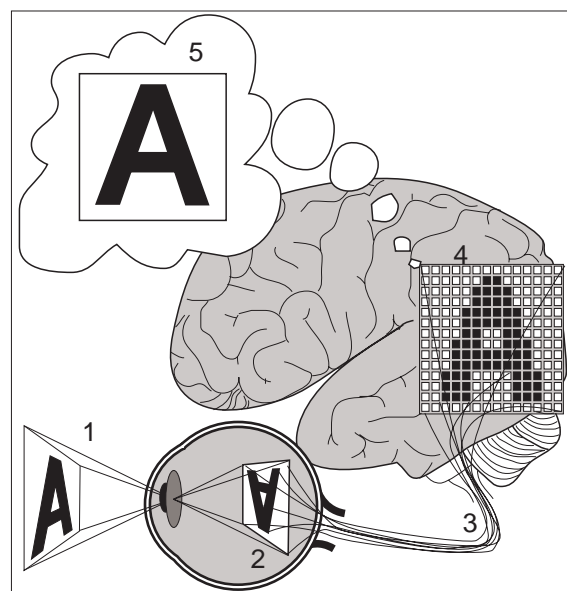
les. Para llevar a cabo la tarea de encontrar la forma de definir los colores con el mínimo de subjetivismo, se debe comenzar conociendo el funcionamiento del sistema visual humano.

#### 5.2 EL SISTEMA VISUAL HUMANO

El Sistema Visual Humano está compuesto por el ojo, el nervio óptico y la parte posterior del cerebro (Fig. 5.1) donde se encuentran los centros de procesamiento visual. Aunque está generalizada la creencia de que el ojo es el órgano más importante en la visión, lo cierto es que los fallos en cualquiera de los otros órganos pueden producir la ceguera. Por el contrario, se pueden percibir colores incluso con los ojos cerrados:

- a.- Mirando el Sol durante breves momentos y cerrando después los ojos se ve una postimagen de colores cambiantes.
- b.- Presionando el globo ocular se producen sensaciones cromáticas.
- c.- Durante el sueño.

Con los ojos abiertos podemos ver tanto los objetos que tienen luz propia (estrellas, fuegos, incandescencias, fosforescencias, fluorescencias, etc) como a los que les llega la luz de otros y la reflejan en su superficie enviándola hacia nuestra retina.



**Figura 5.1**  
La imagen de un objeto llega al cerebro descompuesta en multitud de puntos correspondiente a la información enviada por cada una de las células receptoras. Cuantas más células existan por unidad de superficie, más definición tendrá la imagen sobre el cerebro. Esos puntitos son al cerebro lo que los pixels son a las pantallas de los monitores.

### 5.2.1 Recorrido y actividad de un rayo de luz

Un rayo de luz que entra en el ojo comienza su recorrido en la córnea, (Fig. 5.2) la parte visible de nuestros ojos, atraviesa el humor acuoso, pasa a través de la lente ocular llamada cristalino y recorre el humor vítreo hasta tropezar con la pared posterior del glóbulo ocular llamada retina, constituida por más de 10 capas de diferentes tejidos. De ellas la que nos interesa es la que contiene unas células fotosensibles con una sustancia llamada rodopsina, susceptible de cambiar su composición química como consecuencia de la absorción de la luz incidente. Este cambio químico activa un cambio eléctrico que llega a través del nervio óptico hasta el cerebro. Allí, estos cambios eléctricos se procesan y se producen sensaciones diferentes que denominamos tamaño, color, situación, textura, transparencia, movimiento...etc.

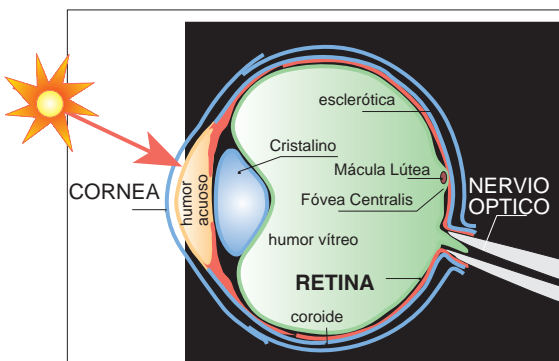


Figura 5.2  
Sección del ojo humano

### 5.2.2 Tipos de células receptoras

Existen dos tipos diferentes de células fotosensibles en la retina denominadas bastones y conos estando cada una especializada en un tipo de recepción (Fig. 5.3).

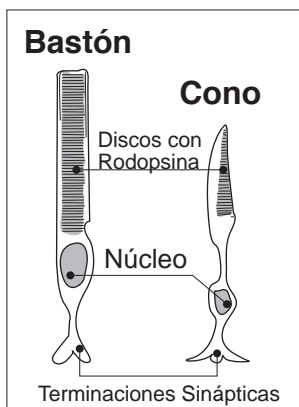


Figura 5.3  
Esquemas de los dos tipos de células receptoras de energía luminosa

#### 5.2.2.1 Los Bastones

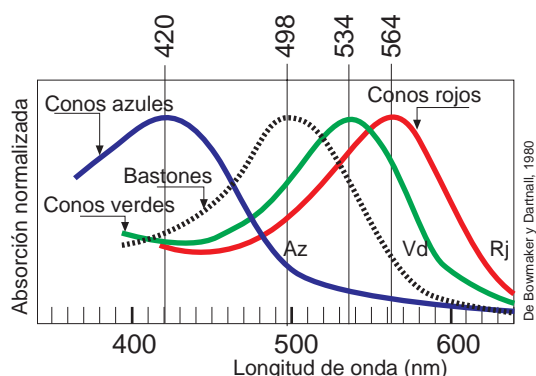
Los bastones informan exclusivamente sobre la claridad o a la oscuridad de una escena. Contienen un pigmento cuya sensibilidad máxima se sitúa en los 510 nm, en la parte correspondiente al verde del espectro. Su eficacia es enorme, pues somos capaces de ver objetos iluminados por un pequeño resplandor luminoso. Estas células están situadas fundamentalmente en la periferia de la retina y van disminuyendo de número conforme nos acercamos al centro del globo ocular, llegando a desaparecer en una pequeña depresión de 0.25mm de diámetro llamada fóvea centralis. Esta disposición de los bastones hace que, en una oscuridad casi total, los pequeños cambios de intensidad luminosa que ocurran “en la periferia” pasen menos desapercibidos que los que ocurren en el espacio que estamos enfocando frente a nosotros. En las situaciones con niveles muy bajos de iluminación somos capaces de percibir objetos, cambios de intensidad luminosa y como consecuencia, movimientos pero en absoluto podremos discernir colores.

#### 5.2.2.2 Los Conos

Cuando el nivel de iluminación aumenta y comienzan a ser excitados los conos mediante la radiación luminosa entrante, empezamos a observar colores. Estas células, conectadas directamente cada una de ellas con el cerebro por medio del nervio óptico, están distribuidas de forma inversamente proporcional a los bastones: la fóvea está completamente recubierta de ellas y van disminuyendo conforme nos alejamos hacia los extremos de la retina donde llegan a desaparecer. La inserción del nervio óptico en la retina está exenta de células receptoras y se denomina punto ciego.

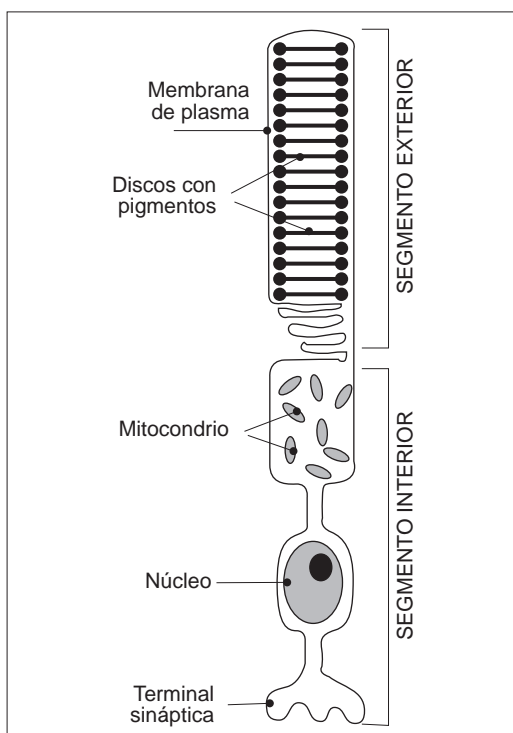
Hay una forma sencilla de evidenciar la existencia el punto ciego: dibujemos dos puntos A (a nuestra izquierda) y B (a nuestra derecha) de 1 mm de diámetro y horizontalmente separados entre sí unos 7 cms. Situémonos frente a ellos con un ojo tapado a una distancia de unos 15 cms. Miremos fijamente al punto contrario al del ojo que tenemos abierto, el A, por ejemplo. Mientras miramos al punto A, seremos conscientes de la existencia del B a pesar de no estar enfocando nuestra mirada a él. Sin dejar de mirar a A, sepáremos poco a poco el papel de nuestros ojos hasta que aproximadamente a los 15-25 cms, dejemos de ver el B. Si seguimos separando el papel, volverá a aparecer B. Durante esa ausencia, la imagen del punto B ha ocupado el espacio del punto ciego de la retina.

Existen tres clases de conos: los capaces de producirnos la sensación de rojo, los que nos producen la sensación de verde y los que producen la sensación de azul. Esta clasificación se hace en función del pigmento que los caracteriza, cuyas absorciones máximas están alrededor de los 430, 530 y 560 nm. (Fig. 5.4) Las combinaciones de frecuencias que sensibilicen a diferentes conjuntos de conos producirán las diferentes sensaciones que denominamos “colores”. Esa forma de llamar a los conos por su color “azul”, “verde”, “rojo” es desafortunada, pues aislando luces monocromáticas de 430, 530 y 560 nm lo que producen son sensaciones de violeta, azul-verdoso y amarillo-verdoso.

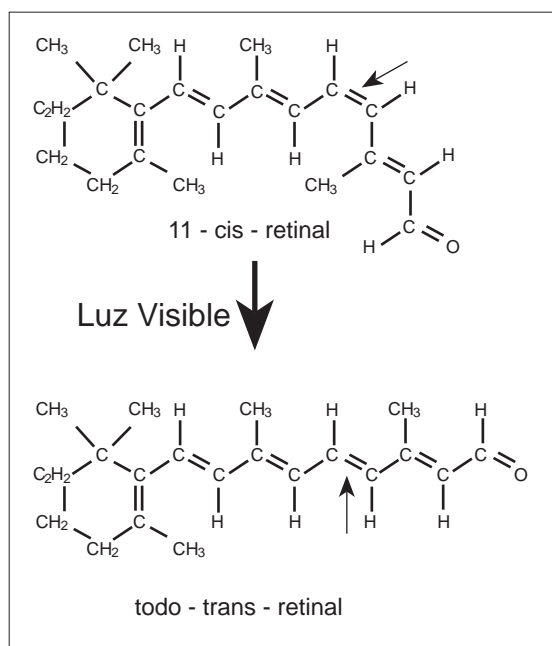


**Figura 5.4**  
 Datos de los fotorreceptores humanos. Bowmaker y Dartnall (1980) proyectaron una cantidad de luz sobre los segmentos exteriores de los fotorreceptores y midieron la cantidad de luz absorbida poniendo de manifiesto las longitudes de onda de máxima absorción de cada pigmento.

La cantidad de células sensibles que existen en un ojo humano normal se estima en unos 100 millones siendo el número de conos ( $5 \times 10^6$ ) mucho menor que el de bastones ( $10^8$ ). Esta relación entre los conos y los bastones en los animales depende de su especialización. En los animales nocturnos la proporción de bastones es todavía mayor que la que existe en el ojo humano mientras que en los



**Figura 5.5**  
 Esquema de una célula visual



**Figura 5.6**  
 La llegada de fotones a la retina provoca la isomerización de la molécula de Rodopsina contenidas en la membrana de plasma de conos y bastones

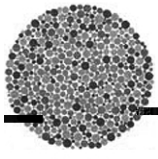
halcones, por ejemplo que necesitan ver pequeños animales en la distancia, el número de conos es mayor que en el ojo humano. Existen incluso animales que no disponen de conos y no pueden ver los colores.

Para enviar la información al cerebro, ambos tipos de células terminan en la llamada sinapsis con la que se unen a las neuronas (Fig. 5.5). El otro extremo de las células contiene las moléculas capaces de absorber la luz. Estas moléculas de una proteína llamada Rodopsina parecen tener la posibilidad de girar alrededor de uno de sus enlaces dobles cuando les llega luz (Fig. 5.6), modificando su geometría -isomerización- provocando los cambios de potencial eléctrico que el cerebro procesa.

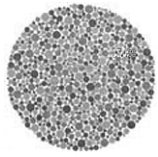
### 5.2.3 Algunas limitaciones

Puesto que en cartografía se muestra la información de forma gráfica, se deben tener en cuenta las limitaciones visuales más usuales. Además de los conocidos problemas de enfoque (miopía, hipermetropía) y deformación (astigmatismo), hay que tener en cuenta otros problemas que transmiten la información de forma errónea. Los que más afectan a la lectura de mapas son, el daltonismo, la falta de agudeza visual y el cansancio cromático.

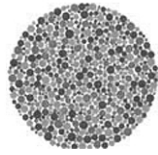
**Miopía:** Un ojo es miope cuando los rayos luminosos que llegan paralelos al eje, se reúnen para formar una imagen en un punto situado por delante de la retina, proyectán-



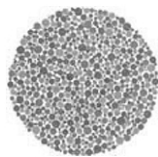
**Figura 5.7**  
La mayoría verán el número 45 . Los daltónicos no podrán ver ningún número.



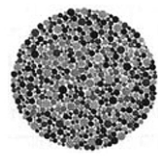
**Figura 5.8**  
La mayoría verá el número 8. Los daltónicos verán el número 3.



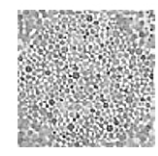
**Figura 5.9**  
La mayoría verá el número 29. Los daltónicos verán el 70 .



**Figura 5.10**  
La mayoría ve el número 5. Los daltónicos verán el número 2



**Figura 5.11**  
La mayoría verán el número 26. Los daltónicos verán el 2 ó el 6

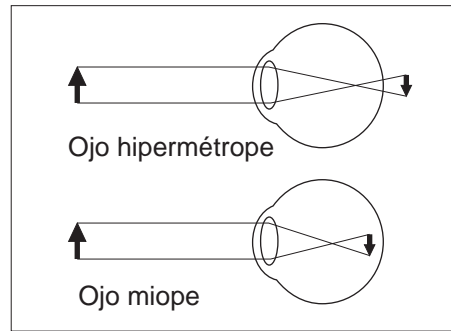


**Figura 5.12**  
La mayoría no ve ningún número en tanto que los daltónicos pueden observar un 4.

Estas figuras han sido obtenidas de la página web <http://www.bareket.org.il/colourblind/test.html>  
Debido a las restricciones de color disponibles en la red no deben tomarse como auténticas pruebas de color.  
Fijémonos en que son colores muy utilizados en los mapas y aunque sólo el 8% de la población es daltónica (de ellos sólo el 1% son mujeres) deberíamos tener estas gamas presentes para evitar en lo posible su uso.



**Figura 5.16**  
Ilumine bien la figura y mírela sin mover los ojos durante 30 segundos. Los conos sensibles al rojo sufrirán una fatiga y necesitarán descansar para poder seguir trabajando. Al mirar después sobre un papel blanco se verá la pseudoimagen con el color de descanso de las células.

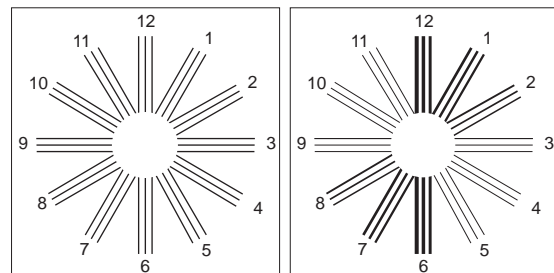


**Figura 5.13**

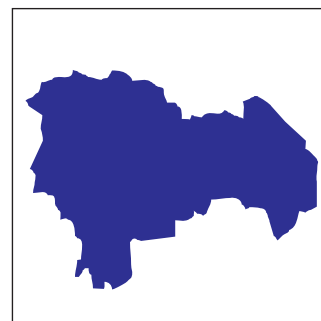
dose esta imagen desenfocada (borrosa) sobre ella, que es lo que percibe el sujeto.

**Hipermetropía:** Un ojo es hipermetrope cuando los rayos luminosos paralelos al eje inciden en la retina antes de concentrarse en un punto. (Fig. 5.13)

**Astigmatismo:** Se dice que un ojo padece de astigmatismo cuando el poder de refracción de los distintos meridianos es diferente entre sí y en consecuencia, la imagen proyectada sobre la retina está desenfocada asimétricamente (Fig. 5.14).



**Figura 5.14**  
Radiación de rectas vistas por un ojo normal y por otro astigmata



**Figura 5.17**  
Lo que en la figura anterior llamábamos "color de descanso" corresponde al complementario del color que ha saturado nuestro sistema visual. Es, hablando groseramente, el color "más diferente" del que ha producido el cansancio.

**Daltonismo:** Se dice que un ojo es cromáticamente normal u ojo tricromata cuando dispone de los tres tipos de conos. Existen individuos que, debido a la falta de alguno o varios de los tipos de conos tienen sólo visión dicromata y monocromata (Figs. 5.7 - 5.12 ). Esto hace que el individuo sea ciego a las diferencias de color en las que entra en funcionamiento el cono o conos que faltan o incluso que, si no tiene conos, no vea colores en absoluto, percibiendo exclusivamente gamas de grises. La deficiencia cromática más extendida es la de no distinguir entre las tonalidades rojas y las verdes y es menor el número de personas que no distinguen entre las azules y las amarillas.

**Agudeza Visual:** La agudeza es la capacidad de ver pequeños detalles. Es máxima en la fovea y muy efectiva bajo buenas condiciones de iluminación. Cuando observamos un objeto detalladamente, intentando ver sus mínimos componentes es cuando estamos enfocando el objeto en nuestra fovea. Aunque un lector con visión normal, pueda detectar fácilmente a la distancia de la visión distinta distintos tipos de señales gráficas de 0,1mm de diámetro, no podrá sin embargo encontrar sus diferencias. Para poder distinguir diferencias entre los signos gráficos, éstos deben tener un tamaño mayor al del límite de visibilidad. El concepto de resolución, que es la habilidad del ojo para separar líneas muy juntas (Fig. 5.15 E) o puntos muy próximos, está muy relacionada con la agudeza visual, con la potencia de enfoque del cristalino y con la densidad de células fotorreceptoras de la retina.

**Fatiga celular:** Si miramos fijamente y de forma prolongada un objeto coloreado, las células sobre las que cae la información cromática llegan a saturarse provocando una fatiga celular cuyo resultado es su incapacidad de trabajo durante un corto periodo de tiempo. Una muestra es el

postefecto que recibimos tras la observación prolongada de los mapas de las figuras 5.16 y 5.17. Esa saturación celular puede provocar efectos muy desagradables en la frontera de dos zonas coloreadas con colores complementarios o en la lectura de textos de color sobre fondo complementario.

### 5.3 LA NATURALEZA DE LA LUZ

---

*Luz* es la palabra que utilizamos para llamar a una parte muy pequeña del total de la energía radiante que, desplazándose por el espacio en forma de radiación electromagnética, sensibiliza a nuestro sistema óptico.

La radiación electromagnética recibe diferentes nombres en función de su longitud de onda: rayos gama, rayos X, radiación ultravioleta, luz visible, rayos infrarrojos, ondas de radio, etc. (Fig. 5.18)

El hombre ha desarrollado órganos sensibles especializados en la detección de determinadas longitudes de onda. El ojo es el órgano sensible a las longitudes comprendidas entre 400 y 700 nm. A esta estrecha franja de radiaciones electromagnéticas se le conoce como luz visible. (Fig. 5.19)

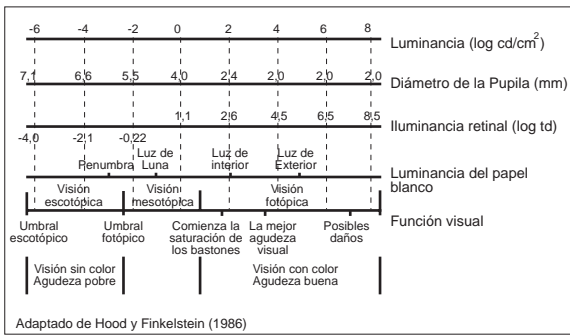
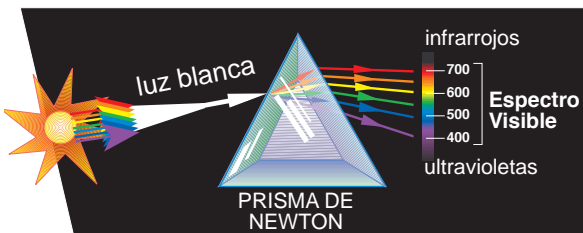
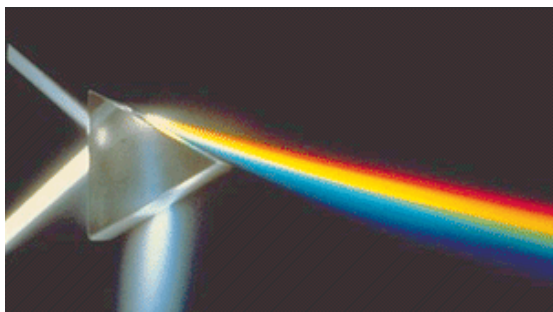


Figura 5.20 La lectura del texto de esta figura es una buena prueba de agudeza visual

El término luz visible implica que el sistema óptico del hombre es capaz de responder exclusivamente a esa determinada banda de energía. No es consciente de la existencia de las ondas de radio o de los rayos X, aunque los ojos pueden quedar destrozados bajo una exposición prolongada a algunos de ellos. Sólo la luz es estímulo para la visión. El Sol es la principal fuente de luz en la Tierra y la parte que penetra a través de las capas de la atmósfera terrestre está compuesta principalmente de radiación visible, radiación ultravioleta y radiación infrarroja.

Una primera y sencilla aproximación a la composición de la luz solar, se obtiene a partir del conocido experimento de Newton, en el que se hace incidir un rayo de luz sobre un prisma de cristal. Debido a que el ángulo de refracción de la luz depende de su longitud de onda, la luz se descompondrá y se observarán los diferentes colores correspondientes a sus componentes (Fig. 5.21 y 22). Puesto que el ojo no es igualmente sensible a todas las longitudes



Figuras 5.21 y 5.22

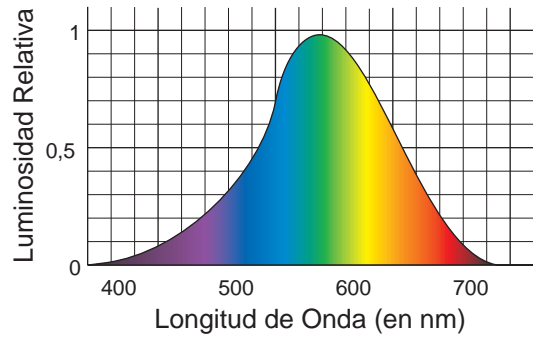


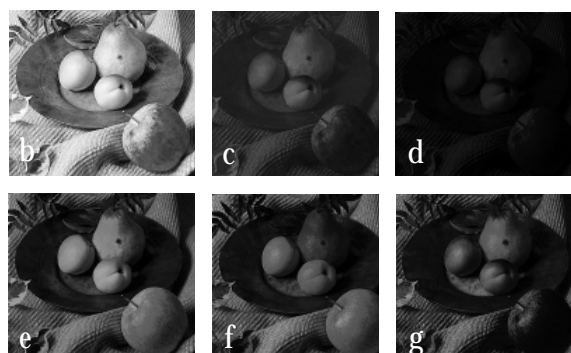
Figura 5.23

de onda, se percibirán unas más fácilmente que otras, siendo las longitudes de onda menores de 380 nm invisibles (Fig 5.23) y comenzando a partir de ahí a ser visible un azul rojizo muy poco luminoso al que llamamos violeta. La luminosidad irá aumentando hasta llegar al máximo, aproximadamente en los 550 nm que corresponde a lo que llamamos color verde amarillento e irá disminuyendo hasta hacerse casi imperceptible hacia los 700 nm en que se produce una sensación de rojo amarillento. Finalmente hacia los 710 nm desaparece, aunque algunos observadores han sido sensibles a radiaciones que llegaban a los 780 nm.

## 5.4 COLOR APARENTE

Si los colores como hemos visto, son respuestas cerebrales a la incidencia de luz en nuestro sistema óptico, es claro que el color de un objeto es el resultado perceptual de la radiación que llega a nuestros ojos tras reflexionar en el objeto. Si en un plato ponemos una selección de frutas: plátanos, naranjas, limones, tomates, pimientos, rabanitos, etc. y los iluminamos con una misma fuente de luz, obtendremos las diferentes sensaciones que denominamos colores de cada una de las diferentes frutas. Puesto que la luz incidente es la misma, deducimos que el resultado de observar diferentes colores viene determinado por la reflexión de la luz sobre cada una de las frutas y que las materias que componen cada una de las cáscaras tienen propiedades diferentes, reservándose unas determinadas longitudes de onda y despidiendo otras, que son precisamente las que inciden en nuestros ojos.

La manzana de la figura 5.24a que está iluminada con luz del día la vemos roja (su piel devuelve las longitudes de onda que nos van a producir la sensación de rojo). Si iluminamos ahora la manzana con una fuente de luz que no contenga ninguna longitud de onda correspondiente al rojo, una luz cyan por ejemplo (Fig. 5.19 g), la manzana no podrá expulsar ninguna radiación roja, pues la luz que le ilumina no dispone de ellas, y veremos la manzana de color negro. No podemos pues afirmar que los objetos



**Figura 5.24**  
 Cuando observamos las figuras de arriba, inconscientemente, sin mucho esfuerzo llegamos a pensar que la figura (a) es la “figura real” y que las otras son modificaciones de la primera. El hecho de que la (a) sea la mayor y que los colores estén medianamente armonizados, nos conducen a esa opinión. Si tapamos con un papel la figura (a), y observamos el resto, habrá una figura que tomará el puesto dejado por la (a) y se convertirá en “patrón” de referencia. Las demás, comparadas con ella, serán más oscuras, más azuladas, etc.  
 Si tuviéramos que juzgar las figuras (b), (c) y (d) diríamos que son fotos de la misma escena tomadas con diferentes intensidades de iluminación, y viendo cada fotografía aislada de las demás, siempre diríamos que cualquiera de las tres manzanas tiene color rojo.  
 No diríamos lo mismo si viésemos una muestra de esos tres colores rojos juntos. En la figura 5.20 se muestran aislados para evidenciar sus diferencias.  
 Las tres figuras (e), (f) y (g) corresponden a la visión de los objetos al iluminarlos con luz amarilla, magenta y cyan. Podemos comprobar como al iluminar amarillo se tornan negros los violetas, al iluminar con magenta se ennegrecen los verdes, y al iluminar con cyan se vuelven negros los rojos.

“sean” de un color sin referirnos a las características de la luz que les llega. La lectura del pie de la figura 5.24 convencerá al lector de la necesidad de estandarizar colores e iluminantes



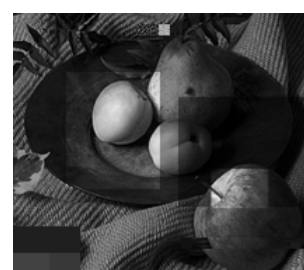
**Figura 5.25**

Colores tras un cristal con agujero y colores tras un filtro transparente marrón

En estos ejemplos, en el que los colores cambian sustancialmente tras los filtros, seguimos viendo transparencias. Nuestro cerebro sigue viendo constancia en los colores a pesar de las desigualdades.



**Figura 5.26**



**Figura 5.27 Persistencia de los colores.**  
 Las frutas siguen viéndose del mismo color tras los filtros que las oscurecen o las aclaran. Nuestro cerebro traduce la información haciéndonos creer que hay un agujero en el cristal delante del cuadro o que hay pegado un plástico transparente que oscurece una parte.  
 En la esquina inferior izquierda se han situado tres rectángulos con los colores que adquiere la misma parte de la piel de manzana tras cada filtro. Es difícil seguir afirmando que los tres rectángulos son rojos...

### 5.4.1 Necesidad de estandarización

El término color se utiliza de maneras muy diferentes. El químico y el impresor hablan del color y se refieren a él en términos de tintes, pigmentos, y otros materiales semejantes. El físico se refiere a él en términos de longitudes de onda, el fisiólogo en términos de capacidades visuales, el psicólogo se interesa en las sensaciones que producen al observador, el artista en términos de estética, el cartógrafo y el grafista en función de sus significantes y su poder de categorizar. Cada uno de esos profesionales ha desarrollado un lenguaje propio y es necesario que exista una homogeneización en la nomenclatura. Definir los colores por su nombre implica un gran subjetivismo. El término “anaranjado”, por ejemplo, engloba una enorme serie de sensaciones visuales que se extienden desde el amarillo hasta el rojo, quedando el color definido de forma muy inconcreta. Para evitar esta indefinición, debe alcanzarse una forma de definición métrica que no deje lugar al subjetivismo del observador. Eso es lo que pretenden los diferentes métodos de especificación de los colores.

## 5.5 LA ESPECIFICACION DEL COLOR

### 5.5.1 Los espacios de color

Un espacio de color es un método para especificar, crear y visualizar los colores. Hay muchas formas de definir colores. Por ejemplo, con nuestro lenguaje habitual podemos definir el color mediante los atributos perceptivos humanos Tono, Valor y Saturación, y definir el color mediante cualificaciones y cuantificaciones verbales (“Es un color naranja oscuro muy brillante”). Pero la percepción no es muy fiable y lo que para unos es “muy oscuro” para otros no lo es. También puede describirse un color en términos informáticos utilizando las cantidades de las emisiones de fósforo Rojo, Verde y Azul necesarias para obtenerle en la pantalla de un monitor. Si utilizamos el lenguaje de los impresores, una prensa de imprenta puede producir un determinado color en términos de reflectancia y absorberencia de las cantidades de tinta cyan, magenta y amarilla sobre un papel. Vemos pues que un color se especifica generalmente por medio de una tríada de coordenadas o parámetros (tono-valor-saturación, cyan-magenta-amarillo, rojo-verde-azul). Estas coordenadas sitúan el color dentro del espacio de color utilizado.

Ningún espacio de color soluciona todas las necesidades de los usuarios. Es algo similar a lo que ocurre en cartografía con las Proyecciones Cartográficas: hay proyecciones que mantienen las superficies, otras que mantienen las distancias otras que mantienen la forma, pero ninguna de ellas es útil para la totalidad de los objetivos. Algo similar ocurre con los espacios de color pues ningún sistema soluciona todas las necesidades de los usuarios pues algunos espacios de color son linealmente perceptivos, de forma que a un cambio de 10 unidades en el estímulo le corresponde el mismo cambio en la percepción y otros, fundamentalmente los que tienen que ver con los ordenadores, no lo son; Algunos espacios son intuitivos y su utilización es muy sencilla mientras que otros son complicados o no son intuitivos; Otros están unidos a equipos físicos determinados (son servicio-dependientes) y algunos son independientes del equipo utilizado.

El Círculo de Colores

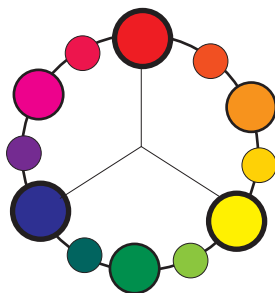


Figura 5.28

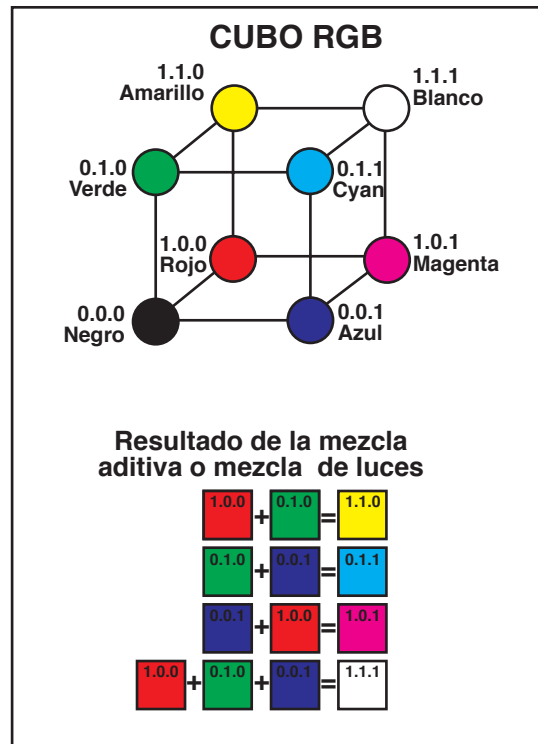


Figura 5.29

Los espacios de color más conocidos son:

El Círculo de colores, (Figura 5.28) es el utilizado en los ambientes artísticos. Los “primarios” o colores puros (Rojo, Amarillo y Azul) se mezclan en iguales cantidades entre sí y dan lugar a los “secundarios” (Naranja, Verde, Violeta), que mezclados a su vez con los primarios se obtienen los “terciarios”. El hecho de no especificar los primarios más que con su nombre, nos impide garantizar los resultados.

El espacio RVA (rojo, verde, azul) (Figura 5.29), conocido por sus siglas sajonas RGB (red, green, blue), que es un sistema aditivo del color basado en la teoría tricromática. Es muy utilizado tanto en los sistemas informáticos como en video y televisión. No es lineal con la percepción y es servicio-dependiente, por lo que dos monitores que dispongan de este espacio de color, pueden no mostrar los mismos colores en la pantalla. No es nada intuitivo debido a que no se corresponden los resultados con las mezclas que se obtienen con las pinturas clásicas de óleo, acuarela, témpera, tintas, lapiceros, etc.

El espacio CMA(N) (Fig. 5.30), -cyan, magenta, amarillo (y negro)- conocido por en el mundo sajón como CMY(K), que es un espacio de color basado en la mezcla sustractiva de colores (y por lo tanto muy intuitivo) y se utiliza fundamentalmente en el mundo editorial y de la impresión. Utiliza una cuarta componente negra para potenciar la luminosidad y profundidad de los colores. Es sencillo de usar, intuitivo, dependiente del servicio que lo



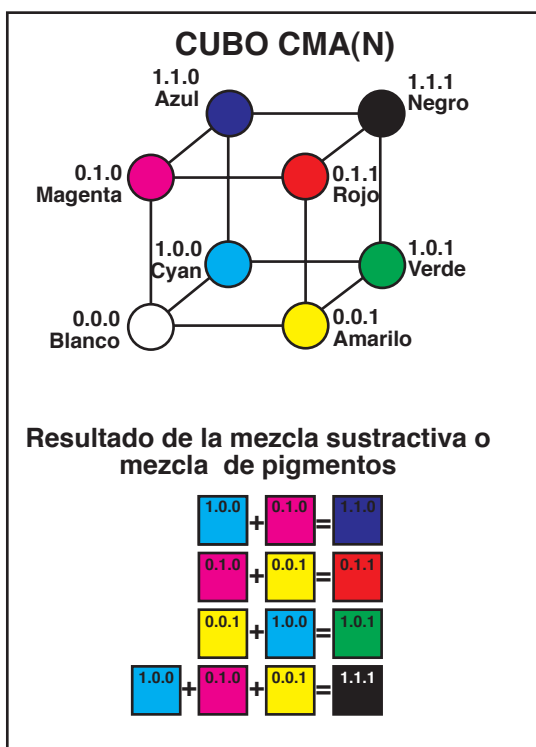


Figura 5.30

aplica, no lineal con la percepción y la transferencia entre los colores definidos en este espacio y los definidos en el espacio RGB no es fácil, aunque existen transformaciones sencillas que aproximan los resultados.

El espacio TCS (Tono, Claridad, Saturación) representados como conos, pirámides o dobles conos y pirámides, Figs. 5.31 y 5.32, que representa a toda una familia de espacios de color similares, como TSI (Tono, Saturación, Intensidad), TSV (Tono, Saturación, Valor), TCI (Tono, Cromo, Intensidad), TSO (Tono, Saturación, Oscuridad), son transformaciones lineales del espacio RGB y por lo tanto servicio-dependientes y no lineales con la percepción. Su ventaja está en la facilidad para especificar un color, siendo muy fácil elegir un tono y modificar su saturación y valor para obtener el color deseado.

Los espacios YIQ (para uso de las especificaciones NTSC de video y televisión), el YUV (para el sistema PAL), el YCbCr (para los aparatos de imágenes digitales), son espacios de color para la transmisión de imágenes por televisión.

Los dos espacios de color CIE (CIELuv y CIELab) Fig. 5.33, están relacionados con el sistema CIE que es lineal con la percepción, pues está basado en la visión humana. Tienen la desventaja de que no son intuitivos en absoluto, por lo que la CIE definió otros espacios de color (CIELhs y CIEL hc) para introducir en sus especificaciones los términos h (tono), s (saturación) y c (croma).

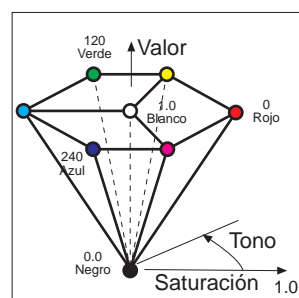


Figura 5.31  
Espacio TVS. Compárese con el Cubo RGB

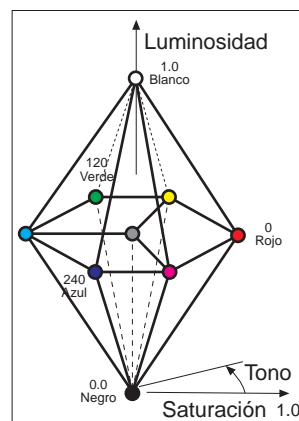


Figura 5.32  
Doble pirámide del espacio TLS. Posiblemente una representación más adecuada e intuitiva del espacio cromático que la TVS

Las figuras 5.34 y 5.35 muestran las herramientas de manipulación cromáticas utilizadas por uno de los programas de diseño gráfico más populares (Macromedia FreeHand). Como se observa están basadas en los espacios de color Rojo-Verde-Azul, Tono-Claridad-Saturación, Cyan-Magenta-Amarillo o Cuatricromía (CMAN).



Figura 5.33  
La gama de color CIE

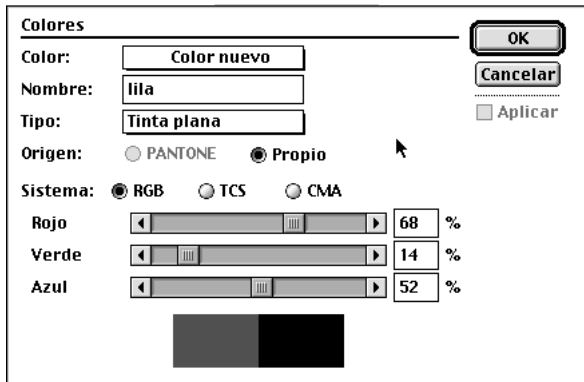


Figura 5.34  
La creación de colores por medio de herramientas basadas en los espacios de color RGB, TCS y CMA. Del programa Free Hand 3.1

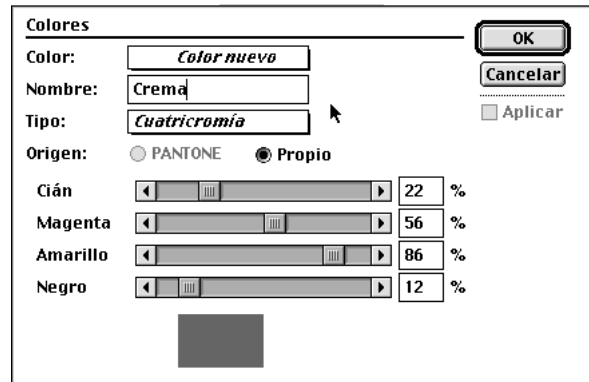


Figura 5.35  
La creación de colores por medio de la herramienta basada en la cuatricromía CMAN. Del mismo programa que la anterior

### 5.5.2 La espectrografía

Veamos una forma objetiva de definir un color descrita por Boss. Consideremos un papel verde. Si iluminamos ese papel con una fuente de luz blanca y situamos delante de él un aparato (espectrofotómetro) que mida las componentes espectrales (rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul y violeta) de la luz reflejada por el papel, obtendremos unos valores que serán los que definan ese color verde del papel.

Centrémonos en principio sólo sobre una de las componentes reflejadas, por ejemplo la violeta. La cantidad de luz violeta reflejada por el papel debe ser menor que la cantidad de luz incidente. La proporción medida con el espectrofotómetro entre la cantidad de luz reflejada y la cantidad de luz incidente se denomina reflectancia de la superficie y varía de 0 a 1. Diremos que una superficie tiene reflectancia 0 cuando no refleje luz en absoluto y reflectancia 1 cuando refleje la misma cantidad de luz que le llega.

El mismo procedimiento podría seguirse para cada uno de los demás componentes del espectro que inciden sobre el papel y como resultado obtendríamos una tabla de valores que definirían el color del papel y que mostraría un aspecto parecido al que se muestra en la Tabla de reflectancias de la página siguiente.

Aunque normalmente se miden 16 intervalos de longitudes de onda: 400, 420, 440, ..., 700nm, la medida de la reflectancia para esas seis regiones espectrales que se muestran en la tabla definen el color de la anterior superficie verde reflectante con suficiente precisión. Este resultado se presenta a menudo de forma gráfica como el que se muestra en la figura 5.36 y que se denomina SPD (Spectral Power Distribution) o curva espectrométrica del color, teniendo cada color una curva característica que le define. En el caso de un inexistente blanco perfecto refle-

jará toda la luz que le llegue y su curva será una línea horizontal situada en la parte más alta del cuadro y en el caso del negro será otra horizontal en la parte más baja.

Las curvas de reflectancia espectral contienen, para el experto, mucha más información que la que puede obtener el ojo a simple vista, y por eso su utilización es fundamental para la solución de numerosos problemas, en especial para la confección de colores estándares que deben mantenerse fijos y para la interpretación de los fenómenos que ocurren al mezclar colores.

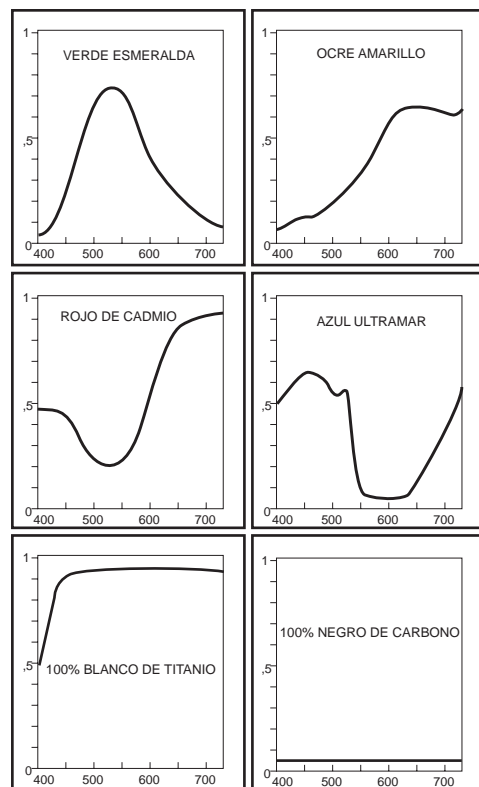


Figura 5.36. Curvas espectrométricas

REFLECTANCIA DE LAS COMPONENTES

Región espectral	Reflectancia	
Violeta	400-450 nm	0,12
Azul	450-490 nm	0,29
Verde	490-560 nm	0,36
Amarillo	560-590 nm	0,16
Naranja	590-630 nm	0,16
Rojo	630-700 nm	0,08

Tabla de reflectancias de una cierta superficie verde

### 5.5.3 La fijación de iluminantes

Si iluminamos el anterior papel verde solamente con luz roja, es indudable que la pared reflejará solamente esa luz y las medidas de las demás longitudes de onda serán cero, por lo que no podrá ser comparada con el mismo papel iluminado con luz blanca. Es pues fundamental definir un iluminante que contenga *todas* las componentes del espectro visible antes de realizar la medida de la reflectancia de un color.

La Comisión Internacional de la Iluminación (CIE, Commission International de l'Éclairage) recomendó unos ciertos patrones de iluminación que llamó A, B, C y D65, siendo el A el que representa la luz artificial de incandescencia con filamento de tungsteno (2844° K), el B el equivalente a la luz del Sol directa (4870°K) y el C el que representa la luz de día. Este iluminante C resultó ser un pobre emulador de la luz diurna pues contenía insuficiente energía y fué sustituido por los llamados iluminantes D. El D65 es el que extiende su rango de aplicación entre los 300nm y los 830nm, por lo que puede aplicarse para identificar la banda de los infrarojos y de los ultravioletas. Tiene una temperatura de color de 6500°K y su distribución espectral puede verse en la dirección de Internet:

<http://www.cie.co.at/cie/data/sid65.txt>.

#### 5.5.3.1 Temperatura del Color

Plank determinó que la SPD (Spectral Power Distribution) emitida desde un objeto caliente -el llamado cuerpo negro radiante- es función de la temperatura a la que se ha calentado el objeto. Muchas fuentes de luz tienen, en su interior, un objeto ardiente, por lo que puede caracterizarse un iluminante por medio de la temperatura -en grados Kelvin- de un objeto negro radiante que parezca tener el mismo tono. La temperatura de color de un iluminante es la temperatura en grados Kelvin a la que un cuerpo radiante negro emite energía con una determinada distribución espectral. Por ejemplo si la temperatura del cuerpo negro alcanza 5000°Kelvin la luz que emite es similar

a la solar. El concepto de temperatura de color no tiene nada que ver con la temperatura que alcanza el manantial de luz durante el funcionamiento. Una lámpara tiene por tanto una temperatura de color y otra de calentamiento. Por ejemplo un tubo fluorescente alcanza los 40° en la superficie de la capa de fluorescencia (equivalente a 313° Kelvin=273+40) y su temperatura de color, dependiendo del techo que lo refleje, está entre 2800 y 6500° Kelvin)

### 5.6 TRIESTIMULOS EQUIVALENTES

Puesto que nuestro sistema visual dispone de tres tipos de receptores cromáticos sensibles al rojo, al azul y al verde, parece lógico pensar que un sistema externo compuesto por una triada de colores pueda reproducir todos los colores visibles. Esta teoría, fue expuesta por Young y posteriormente por Helmholtz y se basaba en los experimentos llevados a cabo por Maxwell en los que demostró que la mayoría de los colores pueden obtenerse superponiendo tres luces que llamó "primarias".

Si elegimos tres longitudes de onda repartidas por el espectro visible y materializamos tres instrumentos capaces de proyectarlas aisladamente, podemos intentar componer las mezclas de esas luces y visualizar el resultado sin

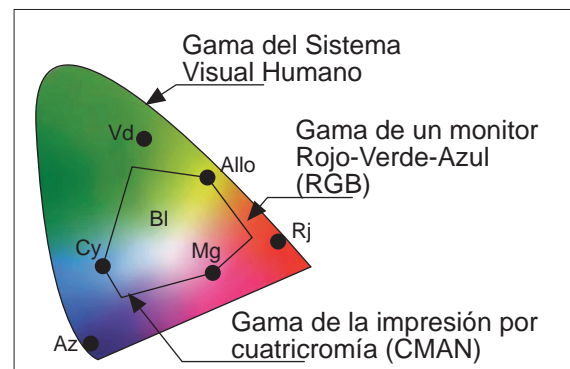


Figura 5.37

Las gamas de color representan el total de los colores que pueden ser creados o mostrados por medio de un determinado sistema de color o por medio de una determinada tecnología. En esta figura se muestran las gamas de color de tres sistemas diferentes:

- a.- Los colores percibidos por el ojo humano, que se encuentran dentro del espacio CIE-XYZ.
  - b.- El espacio triangular RGB que utilizan los sistemas informáticos y que cae totalmente dentro del anterior.
  - c.- El espacio exagonal CMAN propio de la impresión por cuatricromía de las imprentas.
- Todos los colores visibles por el ojo humano no pueden reproducirse ni por medio del monitor ni por impresión. De la misma manera, algunos de los colores visibles en una pantalla no pueden imprimirse y algunos de los azules de la imprenta tampoco pueden verse en pantalla. Esto genera problemas al movernos de una tecnología (RGB) a otra (CMAN).



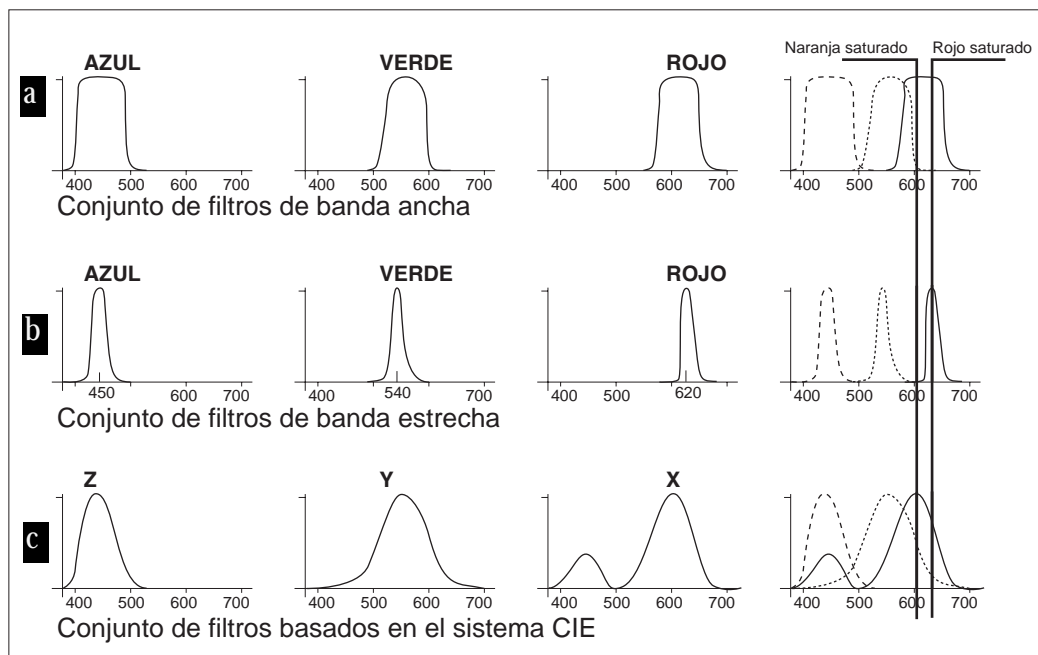
**Figura 5.38**  
*La síntesis aditiva de los colores por medio de tres proyectores con los colores básicos Rojo, Verde y Azul*

más que proyectar una luz sobre otra e ir variando las intensidades de los proyectores. Una aproximación “case-ra” a lo anterior sería la de situar tres filtros de colores delante de tres proyectores de diapositivas o de tres potentes linternas y enfocarlos de forma que las luces se mezclen dos a dos. Modificando las intensidades de los proyectores veremos las variaciones que se produzcan en las mezclas de las luces (Fig 5.38).

La elección de esos tres colores básicos es muy delicada aunque si se eligen adecuadamente pueden obtenerse los demás colores del espectro por medio de sus mezclas. Uno de los requerimientos básicos de la elección de la terna de colores y seguramente el más importante es que ninguno de ellos pueda crearse por medio de mezclas de los otros dos (primera Ley de Grassman).

Realmente, es imposible encontrar tres primarios reales tales que puedan dar origen a todos los colores y por eso en un sistema real de reproducción de colores por medio de la mezcla aditiva, como es la televisión, sólo puede mostrarse un gama limitada de colores (Fig. 5.37).

Para hacer pruebas, supongamos que comenzamos utilizando tres focos de banda ancha correspondientes al azul verde y rojo. Veremos que los colores que se obtengan por



**Figura 5.39**  
*Limitaciones espectrales de un escáner o de una cámara de video si se eligen mal los filtros. Con un conjunto de tres filtros de banda ancha (a), dos colores diferentes (naranja y rojo saturados) pueden aparecer como iguales., en tanto que el ojo los diferencia. Con un conjunto de tres filtros de banda estrecha (b) puede ocurrir que uno de ellos (el naranja en la figura) no pueda obtenerse, de forma que el escáner materializará negro allí donde no encuentre un color legible por su conjunto de filtros. La fila inferior (c) muestra el conjunto de filtros correspondiente a las funciones definidas por la CIE como “Funciones de un Observador Standard”. Para que un escáner o una cámara respondan como lo hace el ojo, debe utilizar el conjunto de filtros más parecido al del ojo humano.*



2.- La mezcla de dos colores cualesquiera puede obtenerse por la suma de las mezclas de las ternas componentes que definen a cada uno de ellos (Ley de sobreimpresión)

$$C_3 = C_1 + C_2 = (R_1 + R_2) + (V_1 + V_2) + (A_1 + A_2)$$

3.- El color que se obtiene al mezclar otros dos colores se mantiene sea cual sea el nivel de luminancia

$$kC_3 = kC_1 + kC_2$$

Estas leyes gobiernan todos los aspectos de la síntesis aditiva de colores (síntesis con luces) aunque puede extenderse su aplicación también a la síntesis sustractiva (síntesis con pigmentos)

### 5.6.2 Coordenadas CIE de Cromaticidad

A partir de las funciones  $f(x)$ ,  $f(y)$ ,  $f(z)$  se obtuvieron otras denominadas Valores Triestímulos que se representan por X, Y, Z. Los valores triestímulos son las cantidades de los tres primarios que definen un color cualquiera. Resultó imposible encontrar tres colores primarios reales que se correspondan con esos valores de X, Y y Z encontrados mediante el cálculo. Para labores prácticas se utiliza otra triada de primarios denominada RGB (Rojo, Verde, Azul), dejando X,Y Z para los trabajos teóricos.

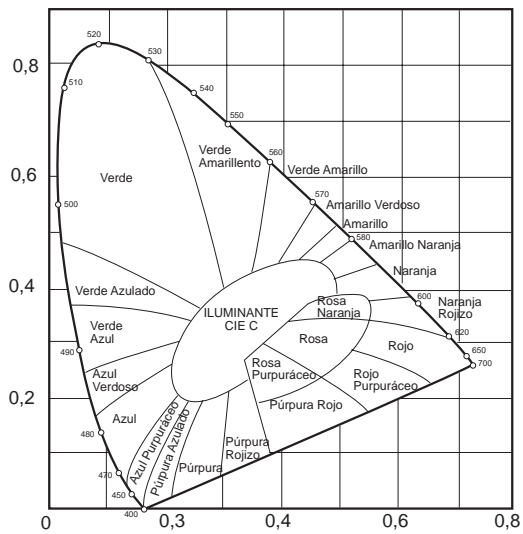
Para facilitar la representación gráfica bidimensional y conseguir una idea más clara del color que tiene un objeto (y para discutir sobre la "pureza" del color en ausencia del brillo), suelen utilizarse las llamadas coordenadas de cromaticidad (x,y) que se obtienen como una proporción de cada valor triestímulo en la suma total:

$$x=X/(X+Y+Z) \quad y=Y/(X+Y+Z)$$

ntez y pureza,  
nda introduci-  
de luz mono-  
1 y rojo de 620  
lores, aunque  
ticos interme-  
llamado Color  
1920 en el que  
buciones nece-  
pudieran com-  
in conjunto de  
ustan a la per-  
uméricamente,  
es de obtención  
".

a mezcla aditi-  
Jna definición

ante una com-  
s de forma que  
mezcla de una

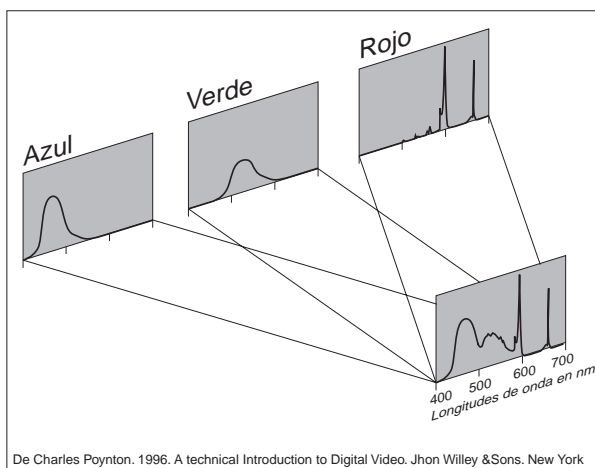


**Figura 5.41 bis**  
 El diagrama de cromaticidad (x,y) CIE, llamado Locus espectral, es la representación de todos los colores visibles por medio de sus coordenadas de cromaticidad x,y. El locus se cierra por su parte inferior por la llamada "línea de los púrpuras", que une el extremo rojo con el extremo azul

la tercera coordenada z no es necesario calcularla ya que evidentemente se ha de cumplir que:  $x+y+z=1$

Los valores x, y, z son las cantidades fraccionales de rojo, verde y azul primarios necesarios para obtener el color deseado.

La representación (x,y) (Fig. 5.41 y 42) de todas y cada una de las longitudes de onda del espectro visible de entre 400 y 700 nm toma una forma de U invertida en lo que se llama locus espectral.



**Figura 5.42**  
 La figura ilustra el proceso físico que está tras la síntesis aditiva del color tal y como es utilizado en TV. La longitud de onda de la imagen resultante es la suma de cada una de las longitudes de onda de las componentes

## 5.7 OBTENCION DE COLORES: LA SINTESIS DEL COLOR

Podemos crear colores por medio de la mezcla de luces y por medio de la mezcla de pigmentos. Cuando manejamos los focos de colores de los que hablábamos en los apartados anteriores, estábamos superponiendo rayos de luz. Sin embargo, la forma habitual de los pintores no es utilizar linternas sino utilizar pigmentos. Cuando se imprime un gráfico -y un mapa es un buen ejemplo- puede utilizarse la cuatricromía, que es una mezcla mixta, para la creación de colores. Esas formas de obtención de los colores difieren notablemente unas de otras.

### 5.7.1.- Síntesis Aditiva del color mezcla de luces

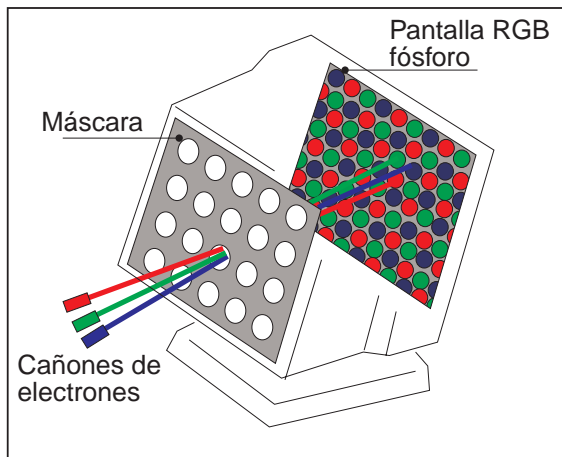
Cuando mezclamos luces la energía que llega a nuestros ojos es la suma de las energías de cada uno de los colores. A esta síntesis se le denomina Síntesis Aditiva del Color. Es la síntesis que se utiliza en los monitores de ordenadores. (Fig. 5.38 y 5.44)



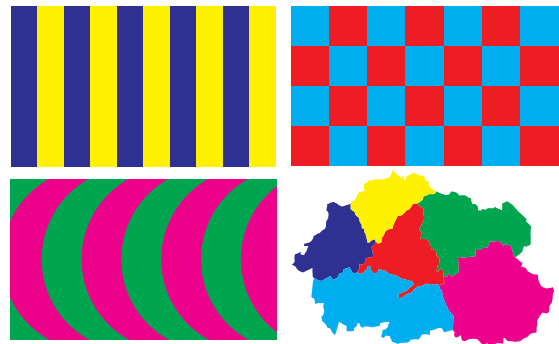
**Figura 5.43**  
 Las triadas de Verde-Rojo y Azul son las que crean todos los colores que se observan en las pantallas de televisores y monitores informáticos. Es una buena experiencia acercarse al televisor cuando esté la carta de ajuste y analizar la composición de cada uno de los colores de la pantalla.



**Figura 5.38**



**Figura 5.44**  
 Los cañones de electrones excitan, proporcionalmente al voltaje, el fósforo de los monitores. El color resultante es la suma de las luces que inciden en cada elemento unidad de superficie de la pantalla, compuesto por una triada de puntos RGB

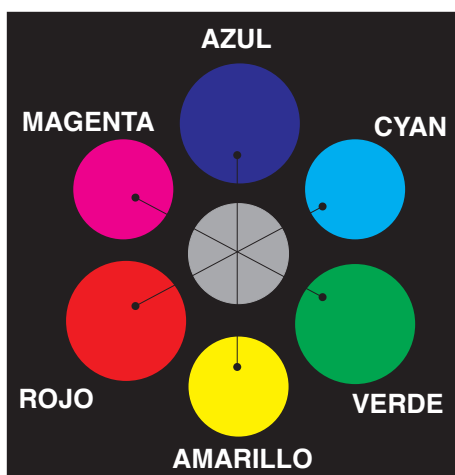


**Figura 5.46**  
 Dos colores complementarios provocan una sensación de vibración en su frontera común. Si miramos con buena luz y sin mover la cabeza cada una de esas figuras durante algunos segundos, veremos aparecer una desagradable franja parpadeante en la unión de los complementarios. Cada uno es el color de descanso del otro, como se vio en las figuras 5.16 y 5.17

### 5.7.1.1 Primarios Aditivos

Los colores primarios para la síntesis aditiva son los que hemos visto en el apartado anterior: Azul, Verde y Rojo. La mezcla de esas tres luces con igual grado de intensidad produce luz blanca.

Las mezclas que se producen dos a dos son (Fig 5.38):  
 Luz roja + luz verde = luz amarilla  
 Luz roja + luz azul-violeta = luz magenta  
 Luz verde + luz azul-violeta = luz cian (azul celeste fuerte)



**Figura 5.45**  
 Los complementarios son colores opuestos entre sí. Cuando el sistema visual se satura con un color, se produce una pseudoimagen de su complementario al cerrar los ojos

### 5.7.1.2 Complementarios Aditivos

Dos luces se llaman complementarias cuando la mezcla de ellas produce luz acromática, que puede llegar a parecer blanca si los focos de luz son muy intensos. Son complementarias las siguientes parejas de luces (Fig. 5.45)

- Verde- Magenta
- Amarillo- Azul Violeta
- Rojo- Cian



**Figura 5.38** Síntesis aditiva

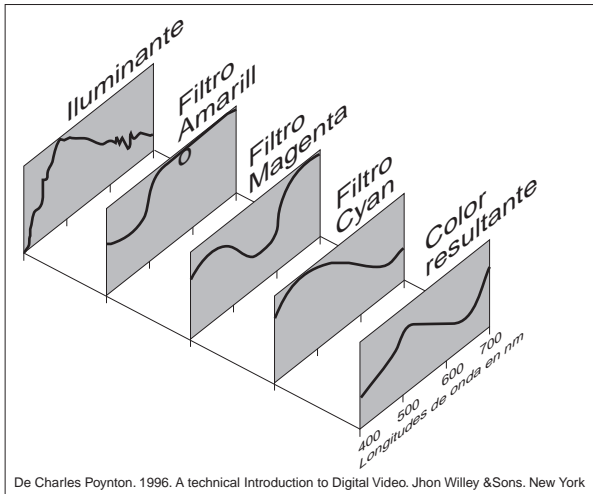


Figura 5.47  
La mezcla sustractiva

### 5.7.2.- Síntesis Sustractiva o mezcla de pigmentos

Es lo que ocurre cuando se mezclan pigmentos para obtener nuevos colores (óleo, lápices de colores, impresión a color offset, etc). La síntesis sustractiva es la forma de pro-

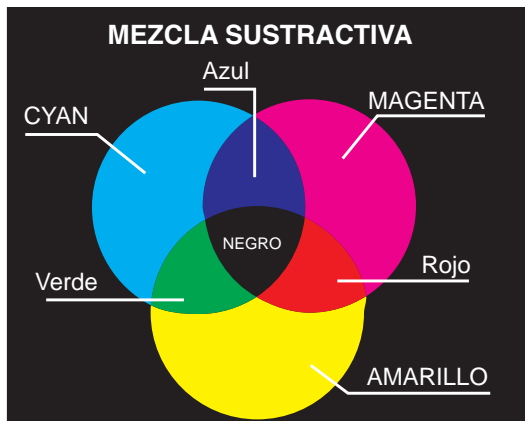


Figura 5.48  
Las mezclas de los sustractivos primarios (CMA) entre sí originan colores con el mismo nombre que los primarios aditivos (RGB). Aunque las transformaciones de RGB a CMA en pantalla son sencillas ( $CMA=1-RGB$ ) no es cierto para el caso de la impresión. El paso de RGB a CMA y viceversa cuando se requiere una gran precisión en el color, se realiza por medio de complicados cálculos polinómicos. En algunos casos la transformación es imposible debido a la ausencia de un color en uno de los dos espacios. Es el caso del cian del espacio CMA que no puede obtenerse en el espacio RGB o el caso del verde del espacio RGB que no puede obtenerse en el espacio CMA, como se puede observar en la figura 5.37. De hecho, si preguntamos a un impresor, nos dirá las dificultades para reproducir los dorados, los azules marinos y ciertos verdes...

### Absorción de rayor por las superficies coloreadas

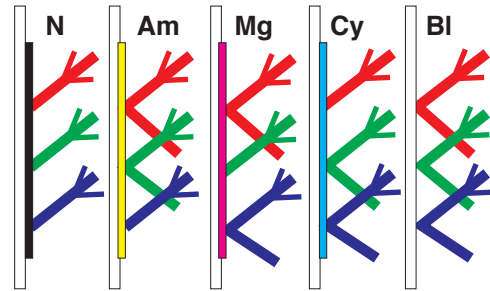


Figura 5.49  
La luz blanca que llega ( $Rj+Vr+Az$ ) se refleja en la superficie y llega a los ojos del observador. Algunas partes del espectro no son devueltas. Es el caso de las superficies negras, que no devuelven ninguna de las longitudes de onda que le llegan. La energía luminosa que llega a estas superficies se transforma en calor. Por el contrario, las blancas, son las que devuelven todas las longitudes de onda entrantes. Es por esto que las ropas claras son más frescas que las oscuras. Las superficies que "vemos de color amarillo" son aquellas que reflejan las zonas roja y verde del espectro pero no devuelven las radiaciones azules.

ducir colores por medio de la eliminación selectiva de partes del espectro.

Un pigmento es una sustancia química que tiene la facultad de absorber determinadas longitudes de onda de la luz que le llega. Si el pigmento está disuelto en un determinado medio físico, como agua o gelatina o aceite, las longitudes de onda que no han sido absorbidas se transmiten por el medio en que está disuelto el pigmento, coloreándolo y las longitudes de onda no absorbidas se reflejan hacia la superficie. El pigmento actúa como un filtro, sustrayendo parte de las longitudes de onda que le llegan y devolviendo al observador sólo una parte del total (Fig. 5.47).

Cuando mezclamos dos pigmentos distintos el color resultante está formado por las mezclas de longitudes de ondas que no han sido absorbidas por ninguno de los pigmentos y que han sido reflejadas o transmitidas al observador. Este es el fundamento de la Síntesis Sustractiva del Color. (Fig. 5.48)

Los colores de los mapas (y de cualquier otra imagen impresa) se obtienen al aplicar sobre la superficie blanca del papel las tintas o pigmentos de impresión. Cuando se iluminan los pigmentos con luz blanca algunas longitudes de onda son absorbidas o se sustraen, por lo que el observador sólo recibe las restantes longitudes de onda. (Fig. 5.49)

#### 5.7.2.1 Los Primarios Sustractivos o Colores Base

Los colores primarios sustractivos o colores base son Cian, Amarillo y Magenta que, como se ha visto, corres-



ponden exactamente a las mezclas tomadas dos a dos de los colores primarios aditivos. Teóricamente, mezclando esos tres colores puede confeccionarse cualquier otro color (Fig.5.48).

Mientras que con la mezcla de las tres luces primarias aditivas se obtenía la luz blanca, con la mezcla de los tres pigmentos primarios sustractivos se obtiene el color negro.

### 5.7.2.2 La impresión por cuatricromía

Puesto que a partir de la mezcla sustractiva pueden crearse una gran cantidad de colores utilizando sólo tres tintas (CMA) como se puede ver en el espacio de color que se muestra en la figura 5.37, podrá éste aprovecharse para obtener la gama de colores imprimiendo en la imprenta las tres tintas básicas una sobre otra. Los originales en color deben descomponerse previamente en los colores básicos CMA por medio de un proceso que se denomina separación de color. Se añade un cuarto componente, el negro, para dar profundidad a las zonas más oscuras.

Cada color, de esta forma, se compone de pequeños puntitos CMAN que a la distancia de lectura normal se funden en el ojo dando la sensación de colores llenos (Fig. 5.51). La visualización con una lupa de cualquier fotografía impresa en una revista, en un libro o en un cartel hará comprender al lector el proceso.

### 5.7.3.- Síntesis Mixta

Una tercera manera de obtener nuevos colores es la síntesis óptica que llamaremos Síntesis Mixta y que se manifiesta tanto en los objetos coloreados que se mueven a gran rapidez como en la impresión por cuatricromía comentada en anterioridad. Cuando se imprimen mapas por medio de la cuatricromía los colores que se observan están afectados en parte de esta mezcla óptica (Fig. 5.51).

El color verde claro de la figura se ha conseguido imprimiendo una trama 50% de amarillo sobre otra 50% de cyan. Como puede observarse en la Fig. 5.51 ambas tramas no coincidirán exactamente. Alejándonos lo suficiente como para no ver los puntitos coloreados, veremos sólo una superficie verde. Observando el resultado con una lupa veremos que existen en el papel impreso cuatro zonas distintas (Fig. 5.52):

- a.- Una zona blanca sin manchas que reflejará toda la luz que le llega: (rojo + verde + azul)
- b.- Otra cubierta de puntos o partes de puntos amarillos, esto es, que refleja la luz (verde + rojo)
- c.- Una tercera con puntos cyan, producto de reflejar las luces (azul + verde)
- d.- Por último otra zona verde producto de unirse sustractivamente una parte de los puntos cyan con otra parte de los puntos amarillo, luego reflejará sólo luz verde.

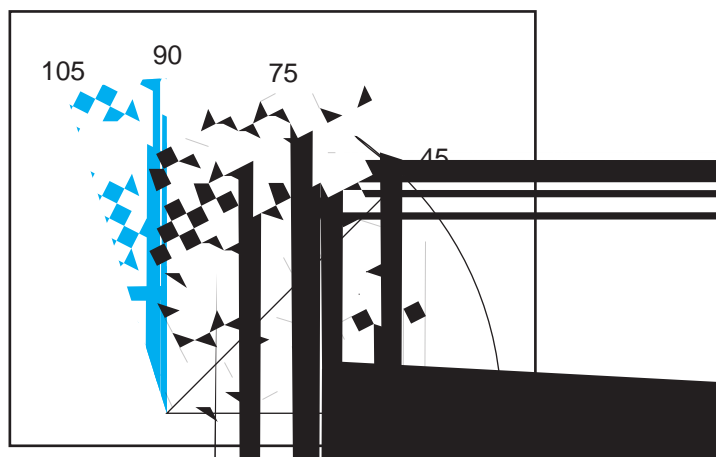


Figura 5.50  
Las tramas de puntos de cada color están giradas unas respecto a las otras para que no coincidan los puntos y no se empasten los colores

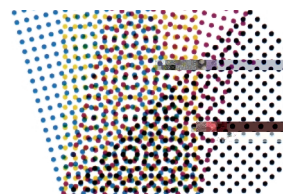
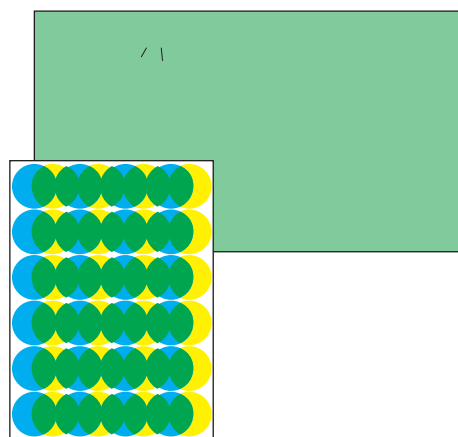


Figura 5.51  
La superposición de las tramas crea los colores. La graduación de cada trama en % indica la parte de papel manchada por los puntitos de tinta

Si sumamos las componentes de luz (rojo + verde + azul) + (verde + rojo + azul) + (rojo + verde + azul) + (verde + rojo + azul) + 2 verde = 2 rojo + 2 azul + 4 verde + 2 verde = 2 luz blanca + 2 luz verde

Que es interpretado por nuestro ojo como un verde claro, pues al no distinguirse los puntitos parecerá que ha sido impreso con un solo color.



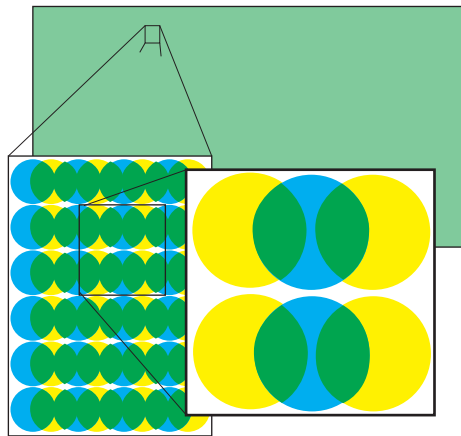


Figura 5.52

verde clara.

Otro buen ejemplo de estímulos que alternan rápidamente y que conducen a la mezcla temporal es el de una peonza que gire rápidamente y cuya superficie tenga sectores circulares de colores. Así, una peonza con los siete colores del arcoíris, al girar aparecerá blanca o más o menos gris, dependiendo de la amplitud de los sectores pintados y de la pureza de los pigmentos.

## 5.8 ALGUNAS DEFINICIONES

La terminología utilizada para definir las propiedades de los colores varían de un autor a otro. Por ejemplo Durret, que analiza el color para su aplicación en las computadoras, utiliza los términos tono, saturación, luminosidad y brillantez.

Agoston opta por los términos tono (hue), saturación (chroma), viveza (colorfulness), brillantez (brightness), luminosidad (lightness), grisura (gryness), fluorescencia (fluorence).

Munsell utiliza los términos tono, valor (value) y saturación (chroma).

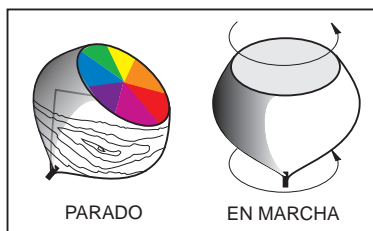


Figura 5.53  
Una peonza pintada con los colores del espectro muestra color blanco al girar. Se produce una mezcla óptica

Actualmente parece que se impone determinar un color por sus componentes de: TONO, VALOR (claridad o luminosidad) y SATURACION (cromaticidad, viveza) que se corresponden con la terminología inglesa impuesta por Munsell de HUE (tono), VALUE (claridad, valor) y CHROMA (saturación, cromaticidad) y que es utilizada por numerosos programas informáticos gráficos.

Tono: es el atributo asociado a la percepción del color que nos permite nombrarle y decir rojo, azul, violeta, etc. Corresponde a la longitud de onda dominante.

Saturación o pureza: es el grado de pureza relativa de un color. El rango de la saturación está comprendido entre el gris neutro hasta el color puro. Un color estará más saturado cuantas menos longitudes de onda distintas tenga.

Valor: en términos de impresión es la medida que nos informa de la cantidad de pigmento que existe en una mezcla con blanco. Su rango va desde el 0% (todo es blanco en esa mezcla y no hay nada de pigmento) al 100% (todo es pigmento y no hay nada de blanco). En términos de tramas de impresión, el valor es el % de superficie cubierto por la tinta. En el lenguaje de Munsell es lo que mostramos en la figura 5.55 como claridad.

Intensidad: Es la medida de la energía radiada por unidad de superficie.

Brillo: Atributo perceptivo visual por el que una superficie parece reflejar más o menos luz. Debido a que la percepción del brillo es muy complicada, la CIE prefiere definir la luminancia, como una cantidad más manejable.

Luminancia: Es la medida de una radiación por medio de la función que caracteriza la sensibilidad espectral de la

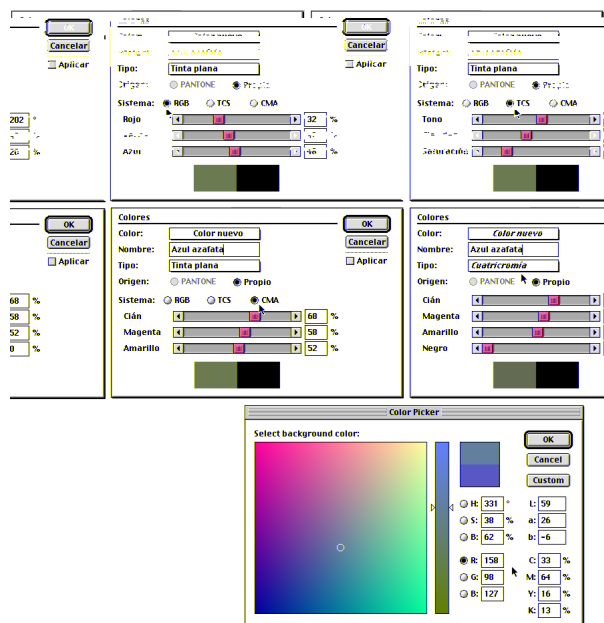


Figura 5.54

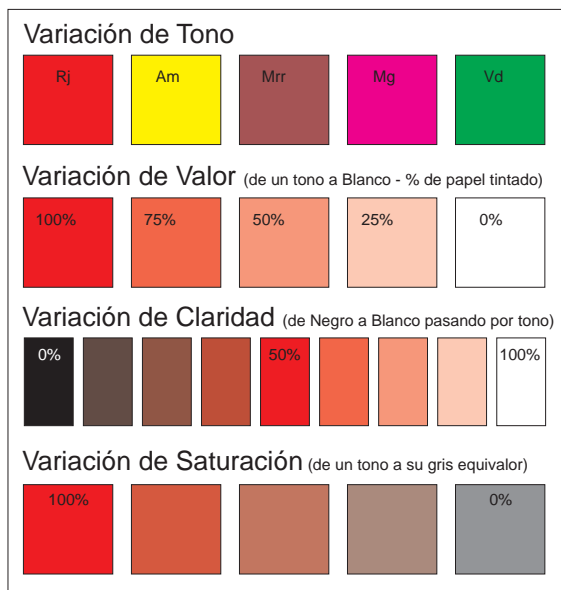


Figura 5.55

visión humana. El valor o la claridad es, en esos términos, la respuesta perceptiva humana a la luminancia.

La luminosidad de un objeto viene determinada por la cantidad de luz que refleja. Los objetos que reflejen el 80% o más de la luz que les llegue aparecerán como blancos y los que reflejen menos del 3% aparecerán como negros. Esta característica es invariable respecto de la cantidad de luz que les llegue.

### 5.8.1 LA NOTACION DE MUNSELL: TONO, CLARIDAD Y SATURACION

#### 5.8.1.1 EL TONO

Se denomina TONO a la sensación cualitativa que permite poner nombres y diferenciar visualmente la información aportada por los observadores sometidos a la visión de una determinada longitud de onda (o a un conjunto de longitudes de onda o incluso a la ausencia de alguna longitud de onda). Se materializa verbalmente mediante palabras como "verde", "azul", "violeta", "verde-azulado", etc. Es la componente con la que nombramos un color.

Pra comprobar el grado de subjetivismo del cromatismo, es interesante la descripción de la experiencia realizada por Murch y Ball (1976): A un número de observadores se les mostraban círculos luminosos monocromáticos con longitudes de onda comprendida entre los 450 y los 650 nm y se les pedía que identificaran la sensación producida por cada estímulo, pero utilizando solamente los términos Azul, Verde, Amarillo y Rojo. Este fué el resultado:

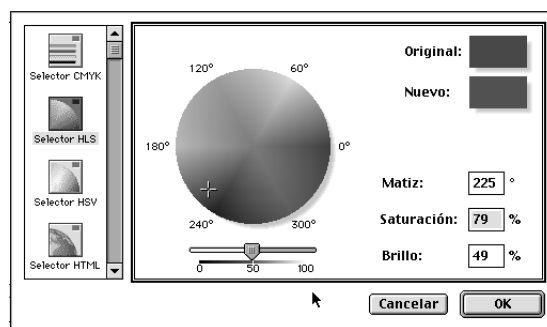


Figura 5.56  
La herramienta de color de algunos programas informáticos muestran el espacio cromático dividido en 360 tonos. En la figura en vez de 'tono' aparece la palabra 'matiz' y la 'claridad' aparece con la palabra 'brillo'. No hay consistencia en los términos.

450-480	Azul
500-550	Verde
570-590	Amarillo
> 610	Rojo

Pero lo más interesante del estudio fue que la mayoría de las longitudes de onda fueron clasificadas en dos o más categorías, por ejemplo, la longitud de onda de 500 nm fue identificada como:

<i>Color visto</i>	<i>Verde</i>	<i>Azul</i>	<i>Amar.</i>	<i>Rojo</i>
<i>%Observadores</i>	63%	22%	8%	1%

Y también curiosamente el concepto de pureza de cada color se dio de la siguiente forma:

<i>El más puro...</i>	<i>Verde</i>	<i>Azul</i>	<i>Amar.</i>	<i>Rojo</i>
<i>está en...</i>	505nm	470nm	575nm	Indefinido

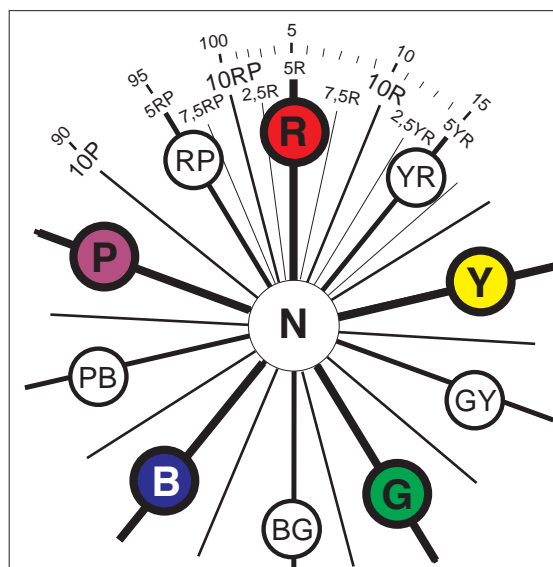
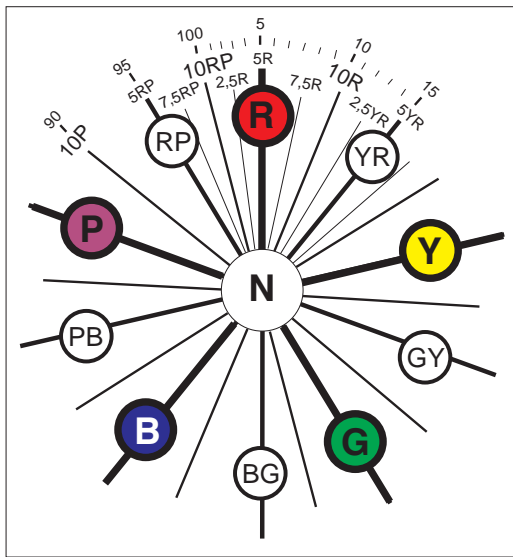


Figura 5.57



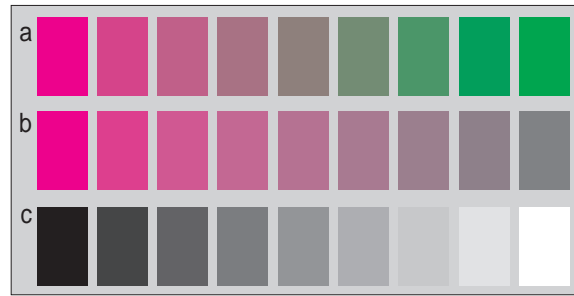
*Figura 5.57 Munsell  
División del espacio cromático en 100 tonos distintos*

La figura 5.40 muestra que el Rojo (identificado con una X) no tiene una longitud de onda predominante asociada a él, como ocurre con el azul que tiene asociada la longitud 450nm, o el amarillo asociado a un máximo en los 550, sino que la curva tiene dos máximos, uno hacia los 600nm y otro menor hacia los 450 y un mínimo absoluto en los 500 correspondiente a un verde.

Para facilitar la nomenclatura de los tonos, Munsell dividió el espacio cromático en 100 subespacios y dió nombre a cada subespacio creando 100 tonos distintos (Fig. 5.57). Esta subdivisión del espacio en 100 tonos es totalmente caprichosa. Podría haberse dividido en otro número cualquiera. Por ejemplo, en los programas informáticos se considera el espacio del espectro visible como un círculo y se divide en 360 partes iguales. Se definen de esta forma 360 tonos diferentes. (Fig. 5.56) y cada tono se llama con el número que le corresponde "color 225"

### 5.8.1.2 EL VALOR

El valor se nombra a veces como brillo como claridad o como luminosidad, aunque esas palabras señalan conceptos diferentes. Por ejemplo, el tono marrón se dice que es menos luminoso que el tono amarillo y significa que el marrón refleja menos cantidad de luz, que tiene menor reflectancia que el amarillo. Ese valor de la reflectancia de los colores es lo que se llama luminosidad. (Fig. 5.55). La luminosidad de un objeto viene determinada por la cantidad de luz que refleja. Los objetos que reflejen el 80% o más de la luz que les llegue aparecerán como blancos y los



*Figura 5.58  
(a) En el paso de un color a su complementario siempre se pasa a través del gris acromático. Los extremos totalmente saturados se desaturan hasta el tono central.  
(b) El magenta se desatura hasta llegar al gris neutro.  
(c) El blanco, el negro y los grises intermedios son los llamados colores acromáticos. No tienen croma que los distinga, por lo tanto no puede hablarse de ellos en términos de saturación. Son colores que sólo tienen valor*

que reflejen menos del 3% aparecerán como negros. Esta característica es invariable respecto de la cantidad de luz que les llegue.

El concepto de valor está asociado a la impresión mediante tramas. Por medio de una sola tinta (imaginemos una tinta negra), se pueden conseguir diferentes superficies grises sin más que rellenar la superficie mediante un punteado de negro. Diremos que un tono está aplicado al 100% de su valor cuando no exista superficie del papel que no haya sido manchada por la tinta y diremos que está aplicado al 1% cuando sólo 1 parte de cada 100 esté manchada con puntos entintados. Si la tinta que utilizamos es la negra, variando el valor del punteado se obtendrá una gama de grises. Si en vez de tinta negra se utiliza tinta de cualquier color se obtendrá una variación del valor que se extenderá desde el color puro hasta el blanco. Por tanto, el valor está asociado a la mezcla de un tono con el blanco.

En la figura 5.58 (c) los grises se han obtenido por medio de la variación del tamaño del punto negro que recubre las superficies. Una variación del valor implica pues una variación de la superficie entintada (impresión mediante tramas) o una variación de la cantidad de blanco de la tinta (impresión mediante tintas planas)

### 5.8.1.3 LA SATURACION

Es un término para expresar la pureza relativa de un color. Un color es tanto más puro -está tanto más saturado- cuantas menos longitudes de onda intervengan en su composición. Según vaya aumentando la banda de longitudes de onda que lo componen, el tono dominante irá siendo cada vez menos identificable hasta convertirse en gris neutro (Fig. 5.58 b).

El término saturación a veces se nombra como croma. De ahí viene el concepto de color cromático, el que tiene un croma dominante y color acromático el que no lo tiene.

Los objetos cromáticos son los que al ser iluminados por una fuente de luz blanca no reflejan la misma cantidad de todas las longitudes de onda. El nombre del color del objeto dependerá de la longitud de onda predominante reflejada.

Por el contrario, si una fuente de luz que contenga todas las longitudes de onda del espectro visible, ilumina a un objeto y éste refleja todas esas longitudes de onda en igual proporción decimos que es un objeto acromático y se verá blanco, negro o con alguno de sus niveles de gris intermedios.

## 5.9 ESPECIFICACION Y MEDIDA DEL COLOR

Se puede especificar un color de varias formas

1.- Llamándole por su nombre popular: Verde botella, Rojo Burdeos, Azul de Vergara, Verde Oliva, lo cual implica el mayor grado de subjetividad (¿botella de qué marca? Burdeos ¿de qué castillo? ¿de qué cosecha?...). La tolerancia de la especificación de un color por su nombre popular es muy grande y por lo tanto el color queda muy poco definido. Además, existen muy pocos colores con nombre propio, por lo que los colores sin nombre no quedan identificados.

2.- Por medio de una carta de colores predefinida. Si disponemos de un espacio de colores normalizado y universalmente estandarizado, podremos referirnos a un color sin más que especificar sus coordenadas, su número de referencia, etc. Además de su número, está definido también por medio de sus coordenadas CMAN, de forma que permite llegar a resultados muy similares por medio de la impresión por cuatricromía

3.- Por medio de sistemas de comparación de colores. Existen distintos sistemas para la definición de los colores tales como el Munsell, el Ostwald que los estudiaremos con más detalle pues son los más utilizados en cartografía.

4.- Por mediciones espectrofotométricas en las que se obtiene las cantidades de luz de diferentes longitudes de onda reflejadas o transmitidas por un objeto (valores triestímulos)

### 5.9.1 El Sistema Munsell de especificación del color

El sistema de ordenación del color de Munsell es una forma precisa de especificar y mostrar las relaciones entre los colores. Cada color dispone de tres cualidades o atributos: tono, valor y croma o saturación. Munsell creó

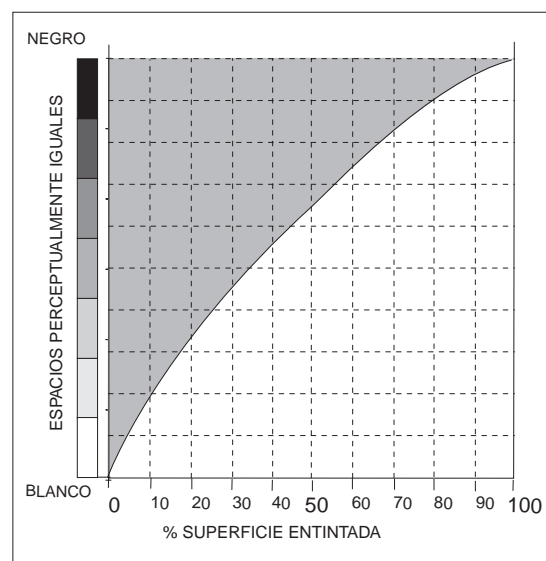


Figura 5.59  
Curva de Munsell

unas escalas numéricas que intentaba mostrar los colores separados por espacios visualmente iguales. Eso no es muy difícil de conseguir para una gama de grises que vayan del blanco al negro. No hay más que analizar los resultados que se obtengan con un número considerable de observadores. La primera conclusión al ver los resultados (Fig. 5.59) es que el ojo es bastante sensible a los cambios en los grises claros y mide mal los cambios en los grises oscuros. Si se pretende que los escalones estén separados cantidades perceptualmente iguales, estos escalones no pueden estar separados por espacios matemáticamente iguales.

Este método puede extenderse a cualquier tono, aunque las curvas que se encuentren no tienen que ser iguales a la que gobierna los grises. Pero admitamos que por ese método podemos encontrar valores equiseparados.

En tanto que encontrar valores equiseparados es una cuestión relativamente sencilla, no lo fue tanto el encontrar los tonos equiseparados perceptualmente. No es sencillo decidir si la separación entre dos tonos dados es igual a la separación entre dos valores dados. La enorme cantidad de observadores que opinó sobre su tabla garantiza que los colores encontrados son congruentes con la opinión de la mayoría. Así pues, en la tabla de Munsell la diferencia entre dos grises adyacentes es la misma que entre dos tonos adyacentes.

Al encontrarse cada día pigmentos que permiten mayores saturaciones, la escala de las saturaciones no puede ser cerrada, por lo que no vale la metodología aplicada al

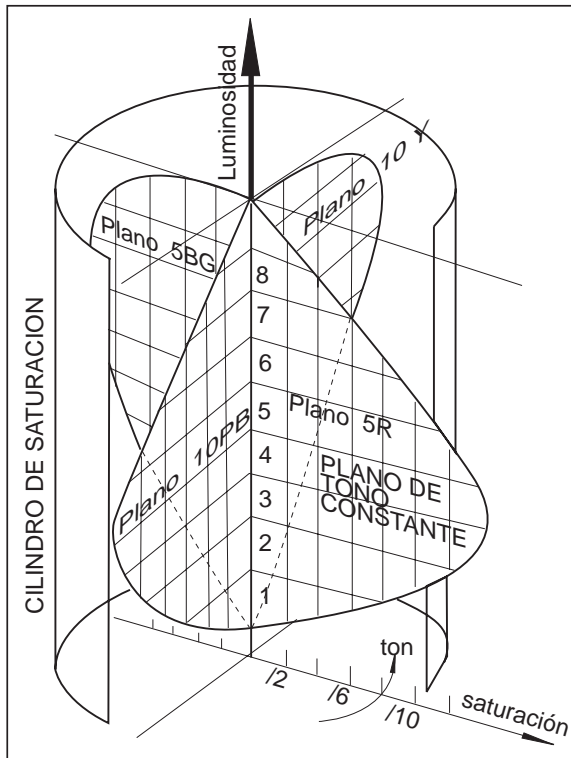


Figura 5.60  
Esquema de las hojas de tono constante que conforman el sólido de Munsell

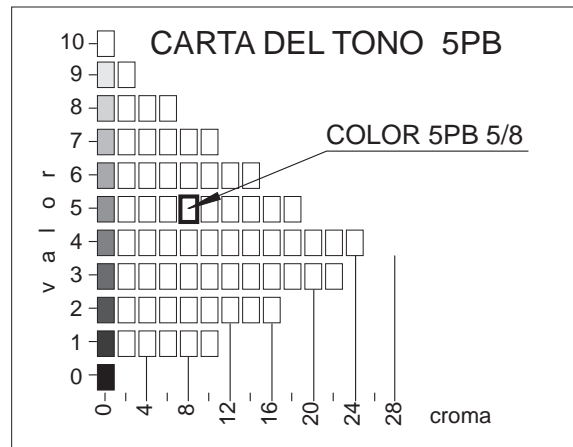


Figura 5.61  
Uno de los semiplanos de tono constante

tono y al valor. Además, cada tono tiene una saturación máxima distinta. Por ejemplo la saturación máxima posible para el rojo es de 14 mientras que para el azul-verde es sólo de 8. Otro problema para la comparación visual es que en sus máximas saturaciones dos tonos distintos tienen distinto valor aparente o distinta luminosidad. Por ejemplo, el amarillo con saturación 12 tiene un valor muy luminoso menor al gris 10%, mientras que el azul púrpuro tiene valor aparente comparable al gris 90%.

La materialización del Sistema Munsell de identificación del color es en esencia un conjunto de fichas de diferentes colores, confeccionado sistemáticamente mediante la modificación de ciertos atributos del color. Estas fichas se utilizan como patrones de comparación visual con los colores que se pretende analizar o crear. Muestra (Fig. 5.61) una colección de cuadraditos identificados y coloreados mediante escalas de tono, valor y saturación y que nos permiten identificar un color bajo ciertas condiciones de iluminación: iluminante conocido, ángulo de iluminación de 45° y visualización del color perpendicularmente a su superficie. Se utiliza generalmente un fondo de color gris neutro cuando se pretende comparar el color de un objeto con las cartas de color de Munsell.

Los atributos del color tono (hue), valor (value) y saturación (chroma) se especifican con las iniciales HVC y se expresan con la llamada notación de Munsell de la forma HV/C.

### 5.9.1.1 Distribución de los Tonos

Munsell colocó en el orden natural del espectro luminoso sobre un círculo (Fig. 5.57) lo que denominó tonos principales: Rojo (R), Amarillo (Y), Verde (G), Azul (B) y Púrpura (P) y situó entre cada dos de ellos los tonos intermedios: Amarillo-Rojo (YR), Verde-Amarillo (GY), Azul-

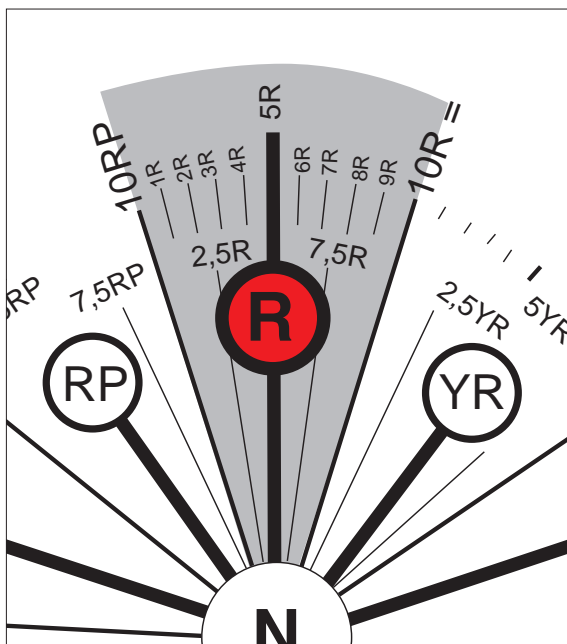


Figura 5.62  
El espacio dedicado a un tono se divide en once subespacios de color

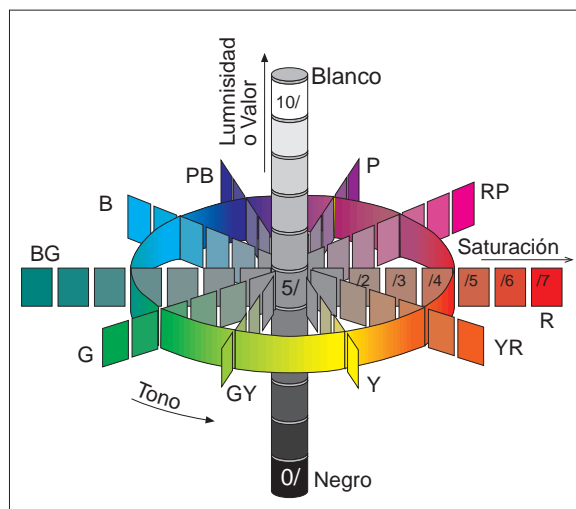


Figura 5.63  
El eje de los valores es perpendicular al círculo de los tonos



Figura 5.64  
Los valores grises matemáticamente equidistantes no presentan separaciones perceptualmente iguales

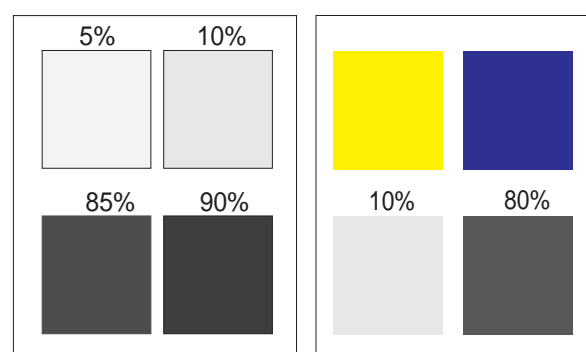


Figura 5.65 (a)  
Se distingue más fácilmente la diferencia entre un 5% y un 10% que entre un 85% y un 90%

Figura 5.65 (b)  
Los tonos totalmente saturados tienen un valor aparente distinto. El amarillo tiene una luminosidad aproximada como la del gris 10%, mientras que el azul es similar al gris 90%

Verde (BG), Púrpura-Azul (PB), y Rojo-Púrpura (RP). El anterior círculo de los tonos fue subdividido en 100 espacios iguales, de forma que el espacio dedicado a cada tono (por ejemplo para el R) era de 11 espacios de color (5 de ellos delante del R y 5 detrás) coincidiendo el último tono de R con el primero del siguiente tono, el YR. (Fig. 5.62) La numeración de cada espacio (seguimos trabajando con el R como ejemplo) era 10RP=0R, 1R, 2R, 3R, 4R, 5R, 6R, 7R, 8R, 9R, 10R=0YR.

### 5.9.1.2 Distribución de los Valores

Para poder mostrar los valores (Fig. 5.63) dispuso de un eje perpendicular al círculo de los tonos dividido en 11 partes iguales. Le llamó eje de los colores neutros o eje de los acromáticos. La parte más alta del eje (valor 10) corresponde al blanco y la más baja (valor 0) corresponde al negro. Los distintos grises se ajustan a lo especificado por la curva de Munsell.

### 5.9.1.3 Distribución de las Saturaciones

La componente que nos falta, la saturación, la colocó como si fuesen sucesivas capas de una cebolla que envuelva al cilindro de los valores de manera que, aumentará la saturación del color conforme se alejen los colores del eje de los valores hacia afuera, teniendo el eje de los valores una saturación nula (0). Las unidades de la saturación son arbitrarias empezándose con cero para los colores neutros pero sin que haya un fin de la escala. Según se van descubriendo nuevos pigmentos se van añadiendo más cuadritos a la escala de Munsell. La escala de saturaciones para las pinturas reflectantes se extiende más allá del número 20 y algunas pinturas fluorescentes llegan a tener saturación 30. Habrá pues tonos que permitan más saturaciones que otros (y por lo tanto, será más extensa la serie de cuadritos de ese color) que otros que como el amarillo tendrán pocos.

### 5.9.1.4 La notación de Munsell

La notación de un color en el sistema de Munsell se escribe de la siguiente forma: Tono Valor/Saturación

Por ejemplo el color especificado como 4R5/14 significa: Tono 4R ( el anterior al tono rojo principal); Valor 5 (el situado a medio camino entre el blanco y el negro); Saturación 14 (Puesto que la saturación es muy alta el color será aproximadamente lo que llamamos bermellón o rojo vivo). Si el color hubiese sido el 4R5/3 nos estaríamos refiriendo al mismo tono pero mucho menos saturado (se acercaría a lo que llamamos rojo de barro).

Los grises neutros (acromáticos) no utilizan la notación anterior pues no disponen de saturación. Se representan sólo con la indicación del valor, por ejemplo N6/ que indica que es un tono neutro (N) con valor 6.

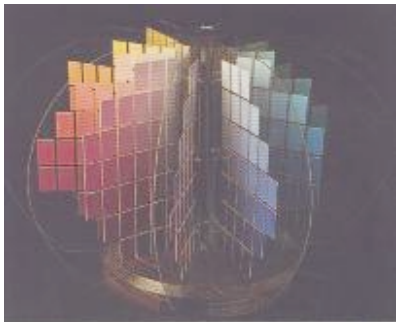


Figura 5.66  
Sólido real de Munsell

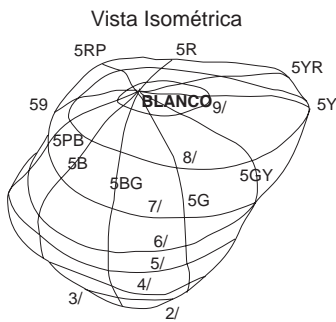


Figura 5.67  
El sólido de Munsell no es muy regular debido a los diferentes grados de saturación de los tonos

## 5.9.2 EL SISTEMA OSTWALD DE ESPECIFICACION DEL COLOR

El sistema de Munsell ha sido estudiado por disponer de un principio constructivo que lo hace muy adecuado para las representaciones cartográficas: la equiseparación perceptual de los colores vecinos. Sin embargo, el hecho de que los tonos dispongan de diferente poder de saturación dificulta su utilización en los mapas (Fig. 5.67).

Un sistema similar al de Munsell es el inventado, a principios del siglo que ahora acaba, por el pintor alemán Wilhelm Ostwald. Estudiaremos este sistema por ser el sistema constructivo en el que, junto al principio de la equiseparación perceptual del Sistema de Munsell, se basa la Carta de Color del ITC de Delf, en Holanda, que tomaremos como ejemplo para estudiar su composición y su uso.

### 5.9.2.1 Características del Sistema de Ostwald

El sólido de color de Ostwald (Fig. 5.68) está constituido por dos conos que se asientan sobre una misma base circular y cuyos vértices están alineados con el centro del círculo .

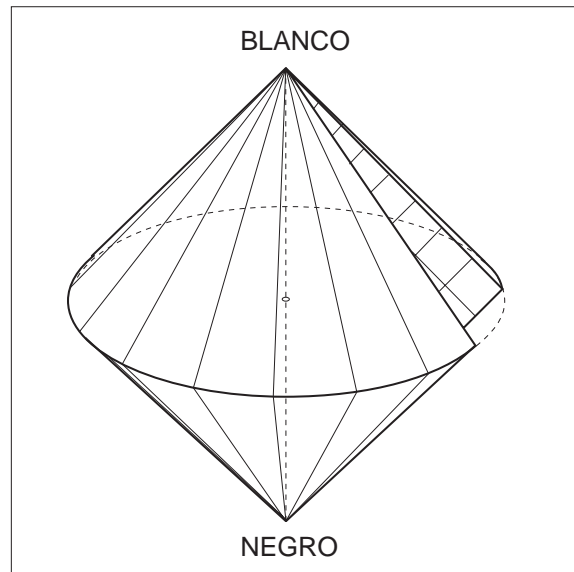


Figura 5.68  
Esquema del sólido de Ostwald

El círculo central (Fig. 5.69) está dividido en 8 sectores circulares correspondientes a los colores: Amarillo, Naranja, Rojo, Púrpura, Azul Ultramar, Turquesa, Verde Mar y Verde Hoja. Cada uno de estos sectores está dividido en tres partes, dando un total de 24 tonos para todo el círculo. Dividiendo el doble cono por un plano que contenga al eje común (Fig. 5.70), se obtienen 2 triángulos cuyos tonos son complementarios, cada uno de los cuales está dividido en 28 colores de un mismo tono. A estos triángulos Ostwald los llamó triángulos monocromáticos. El eje vertical del doble cono está dividido en 8 pasos perceptualmente iguales que van desde el Blanco al Negro. La saturación como en el caso del Sólido de Munsell, crece desde el eje central hacia afuera. Los tonos están distribuidos a lo largo del círculo central de tal manera que cada color tiene diametralmente opuesto a su complementario (Fig. 5.69)

### 5.9.2.2 Diferencias entre el Sistema de Munsell y el de Ostwald

Las diferencias con el sistema de Munsell son:

- 1.- Todos los tonos totalmente saturados están situados en un círculo, mientras que en Munsell era una figura cerrada irregular con radios distintos dependiendo del poder de saturación de cada tono.
- 2.- Para cada uno de los tonos, existe el mismo número de variaciones posibles -los 28 del triángulo más los 6 del eje central correspondientes a la escala de grises-, mientras que en Munsell el número para cada tono era variable y dependiente del poder de saturación del tono.
- 3.- En el Sistema de Ostwald las diferencias perceptuales entre dos tonos adyacentes no son iguales, lo que hace



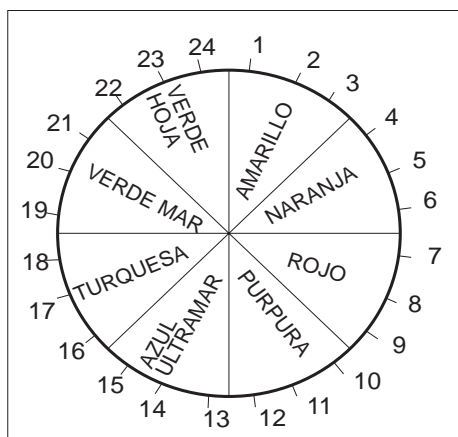


Figura 5.69  
Planta con los colores del sólido de Ostwald

que no pueda ser aplicado correctamente en cartografía, mientras que en Munsell se pretendía por construcción la equiseparación perceptual.

4.- En el Sistema de Ostwald ni el valor ni la saturación de los tonos totalmente saturados se miden con ninguna escala. En Munsell sí.

### 5.9.2.3 Ventajas del Sistema de Ostwald

La ventaja del Sistema de Ostwald es que sistematiza las mezclas de los colores con el blanco y con el negro y con ambos a la vez (Fig. 5.71). Las mezclas de un tono con distintas cantidades de blanco sin modificar la cantidad

de negro se llaman Isotonos. Si se mezcla un tono con diferentes cantidades de negro, siendo la cantidad de blanco la que permanece constante, se obtienen las isotintas. Los isocromos o serie de sombras son los conjuntos de cuadraditos que tienen la misma saturación.

### 5.9.2.4 Notación en el Sistema de Ostwald

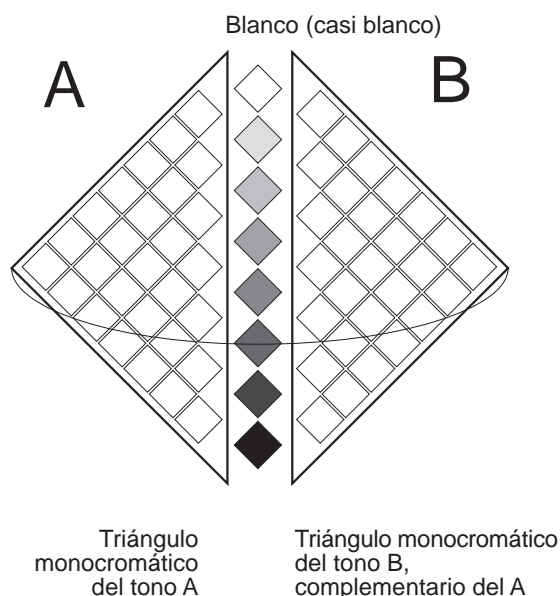
Para nombrar un color, el Sistema Ostwald utiliza el siguiente procedimiento:

1.- El eje vertical perpendicular al centro del círculo se divide en 8 partes llamándose a la del extremo superior (la que termina en el blanco) y p la correspondiente al negro, la más baja. Los grises intermedios se denominan c, e, g, i, l, n. Para denominar un color de un cuadradito, se utilizan las letras de la diagonal de grises unidas por ortogonalidad al cuadradito. La notación ng determina un color situado en la intersección de la fila que sale de n con la columna que baja desde g. La primera letra siempre indica la dirección ascendente. La determinación completa de un color consiste en nombrar las dos letras que se han mencionado precedidas del número del tono (de entre los 24 posibles): Ej.: 18 ni

Los porcentajes de blanco puro y de negro puro de la escala de grises del sistema de Ostwald son:

	a	c	e	g	i	l	n	p
Blanco puro	89	56	35	22	14	9	6	4
Negro puro	11	44	65	78	86	91	94	96

(Tomado de la tabla 8.4 de la obra de G.A. Agoston, "Color theory and its Application in Art Design". Se han redondeado las cantidades quitando decimales)



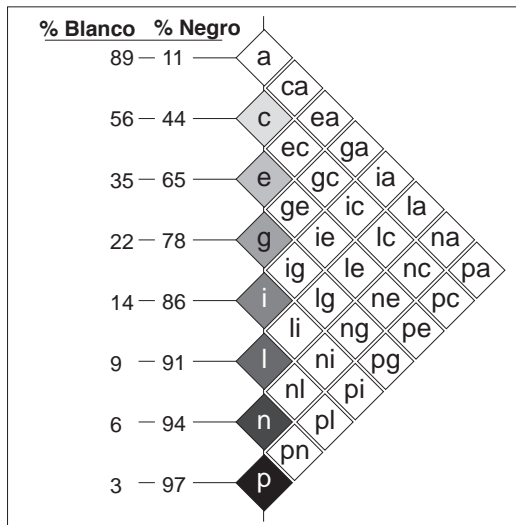


Figura 5.72  
Nomenclatura de los colores en el sistema de Ostwald

Del **18 ni**, por ejemplo, comenzamos por saber que es un tipo de turquesa (el número 18 así me lo indica). La diagonal que sube desde n es la isotinta de 6% de blanco constante. La diagonal que desciende desde i es el isotono de 86% de negro constante. La cantidad de pigmento que tendrá ese color será:  $100 - (86 + 6) = 8\%$

En cada uno de los 24 cuadraditos de tono del sistema de Ostwald la composición de los colores afectados por las letras ni será siempre la misma.

### 5.9.3 El Sistema CIE de determinación del color

La palabra CIE es un acrónimo de Commission Internationale de l'Éclairage, que es el nombre francés de la Comisión Internacional sobre la Iluminación. En 1931, la CIE desarrolló un sistema para la especificación de los estímulos cromáticos utilizando los valores triestímulos de tres colores primarios imaginarios y un observador estándar.

#### 5.9.3.1 El observador estándar CIE

De acuerdo con la teoría tricromática de la visión de los colores, un observador puede igualar un estímulo cromático dado mediante la mezcla aditiva de tres primarios. El observador estándar de la CIE es un observador ficticio. Es el resultado de experiencias en las que a muchos observadores reales se les pidió que igualaran una luz monocromática dada por medio de las mezclas de tres luces primarias. El observador estándar de la CIE no existe físicamente. No es más que una tabla en la que se muestran las cantidades de cada primario que debe utilizar un observador medio para obtener cada una de las longitudes de onda del espectro visible..

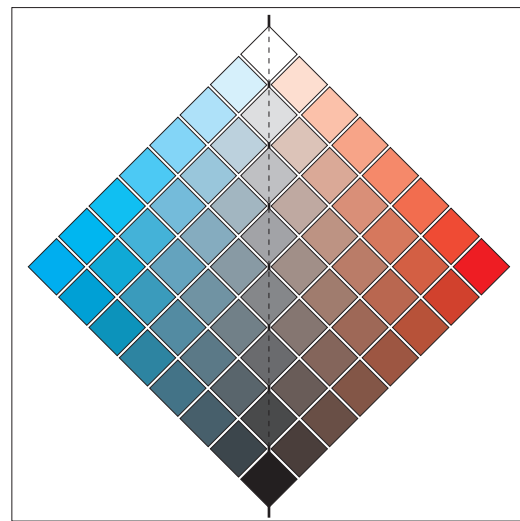


Figura 5.73  
Aspecto de dos hojas con colores complementarios en el Sistema de Ostwald

#### 5.9.3.2 Los valores triestímulos de la CIE

El sistema CIE de determinación del color se basa en la elección de tres primarios como colores patrón para la formación por mezclas aditivas de todos los demás colores del espectro.

Los valores triestímulos son las cantidades de los tres colores primarios (rojo, verde y azul) que permiten describir un estímulo cromático. Los triestímulos CIE se llaman X, Y y Z (Fig. 5.74).

Es imposible encontrar tres primarios reales tales que por medio de sus mezclas aditivas puedan obtenerse todos los colores existentes. Podemos comprobarlo en un sistema real reproductivo de mezclas aditivas como es la TV, en la que sólo puede verse una gama limitada de colores.

En 1931 cuando se especificó el sistema CIE se decidió utilizar tres primarios imaginarios tales que los valores triestímulos X, Y y Z fueran siempre positivos para todos los estímulos reales posibles (esa consideración de evitar el signo menos tenía mucha importancia en los días en que no existían ordenadores). El concepto de primarios imaginarios es complejo y no es estrictamente necesaria su comprensión para conocer el uso del sistema. Si la CIE hubiera utilizado tres primarios reales tales como el rojo, el verde y el azul, los valores triestímulos se representarían por R, V y Az., pero no fué así. La CIE diseñó su sistema de forma que uno de sus valores triestímulos -el valor Y- fuera directamente proporcional a la luminancia del total de la mezcla aditiva, esto es, que tuviera una sensibilidad espectral que correspondiera a la sensibilidad luminosa del ojo humano. La luminancia Y de una fuente luminosa se obtiene de forma continua por integración de su SPD -Distribución de Potencia Espectral- respecto

a su función  $f(\lambda)$  de mezcla de color para un Observador CIE Estándar. (Ver 5.6 Triestímulos equivalentes).

Cuando a la luminancia  $Y$  se añaden las otras dos componentes  $X$  y  $Z$  (sin luminancia), calculadas por medio de la integración de las otras dos funciones de obtención del color  $f(\lambda)$  y  $f(\lambda)$ , se obtienen las componentes conocidas como valores triestímulos XYZ que tienen la propiedad de llevar incluidas las características espectrales de la visión humana del color. En la figura 5.75 se muestra el cálculo discreto de XYZ en forma de producto de matrices.

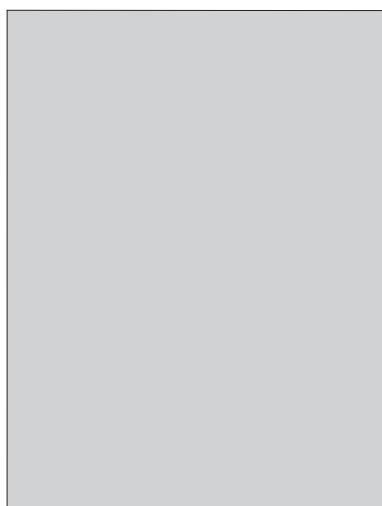
La tríada de colores primarios (rojo, verde, azul) que utiliza el sistema CIE XYZ son colores que en realidad no existen, son colores imaginarios a los que se llega a través de transformaciones matemáticas. En realidad ni siquiera son visibles pues tanto al rojo como al azul se les asigna luminancia cero, ya que toda la luminancia se le adjudica al imaginario verde primario. Así pues un color cualquiera vendrá determinado por sus componentes de rojo y azul mas la luminancia que tenga el verde. La especificación de un color en el sistema CIE se escribe así: CIE(x,y, Y) añadiendo el nombre del iluminante si el objeto no es luminoso. Conforme disminuya la luminosidad  $Y$  disminuirá el locus, siendo menor el número de colores disponibles. Fig. 5.76

### 5.9.3.3 Coordenadas de cromaticidad CIE x,y

Es conveniente, tanto para la comprensión conceptual como para el cálculo, tener una representación del color "puro" en ausencia de la luminancia. La CIE estandarizó un procedimiento para obtener dos valores cromáticos  $x$  e  $y$  a partir de los valores triestímulos XYZ, que se obtie-

LONGITUD DE ONDA (en nm)	x	y	z
400	0,0143	0,0004	0,0679
410	0,0435	0,0021	0,2070
420	0,1344	0,0040	0,6456
430	0,2839	0,0116	1,3856
440	0,3483	0,0230	1,7471
450	0,3362	0,0380	1,7721
460	0,2908	0,0600	1,6692
470	0,1954	0,0910	1,2876
480	0,0956	0,1390	0,8130
490	0,0320	0,2080	0,4652
500	0,0049	0,3230	0,2720
510	0,0093	0,5030	0,1582
520	0,0633	0,7100	0,0782
530	0,1655	0,8620	0,0422
540	0,2904	0,9540	0,0203
550	0,4334	0,9950	0,0087
560	0,5945	0,9950	0,0039
570	0,7621	0,9520	0,0021
580	0,9163	0,8700	0,0017
590	1,0263	0,7570	0,0011
600	1,0622	0,6310	0,0008
610	1,0026	0,5030	0,0003
620	0,8544	0,3810	0,0002
630	0,6424	0,2650	0,0000
640	0,4479	0,1750	0,0000
650	0,2835	0,1070	0,0000
660	0,1649	0,0610	0,0000
670	0,0874	0,0320	0,0000
680	0,0468	0,0170	0,0000
690	0,0227	0,0082	0,0000
700	0,0114	0,0041	0,0000

DatosCIE 1931. Valores triestímulos del espectro de colores por watio de longitud de onda indicada



nen por medio de la transformación proyectiva:

$$x=X/(X+Y+Z)$$

$$y=Y/(X+Y+Z)$$

Siendo la cromaticidad total = 1 = x+y+z

De esta manera un color puede mostrarse en un sistema cartesiano (diagrama de cromaticidad) como un punto de coordenadas (x,y)

Esto es lo que se ha realizado en la Figura 5.41 en la que se han representado los colores del espectro. La curva resultante, denominada locus, está determinada por las coordenadas de cromaticidad (x,y) correspondientes a los imaginarios rojo y verde de cada uno de los colores espectrales. Estas coordenadas (x,y) están calculadas a partir de los valores triestímulos que se dan en la tabla 5.74.

$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0143 & 0,0004 & 0,0679 \\ 0,0435 & 0,0021 & 0,2070 \\ 0,1344 & 0,0040 & 0,6456 \\ 0,2839 & 0,0116 & 1,3856 \\ 0,3483 & 0,0230 & 1,7471 \\ 0,3362 & 0,0380 & 1,7721 \\ 0,2908 & 0,0600 & 1,6692 \\ 0,1954 & 0,0910 & 1,2876 \\ 0,0956 & 0,1390 & 0,8130 \\ 0,0320 & 0,2080 & 0,4652 \\ 0,0049 & 0,3230 & 0,2720 \\ 0,0093 & 0,5030 & 0,1582 \\ 0,0633 & 0,7100 & 0,0782 \\ 0,1655 & 0,8620 & 0,0422 \\ 0,2904 & 0,9540 & 0,0203 \\ 0,4334 & 0,9950 & 0,0087 \\ 0,5945 & 0,9950 & 0,0039 \\ 0,7621 & 0,9520 & 0,0021 \\ 0,9163 & 0,8700 & 0,0017 \\ 1,0263 & 0,7570 & 0,0011 \\ 1,0622 & 0,6310 & 0,0008 \\ 1,0026 & 0,5030 & 0,0003 \\ 0,8544 & 0,3810 & 0,0002 \\ 0,6424 & 0,2650 & 0,0000 \\ 0,4479 & 0,1750 & 0,0000 \\ 0,2835 & 0,1070 & 0,0000 \\ 0,1649 & 0,0610 & 0,0000 \\ 0,0874 & 0,0320 & 0,0000 \\ 0,0468 & 0,0170 & 0,0000 \\ 0,0227 & 0,0082 & 0,0000 \\ 0,0114 & 0,0041 & 0,0000 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 82,75 \\ 91,49 \\ 93,43 \\ 86,68 \\ 104,86 \\ 117,01 \\ 117,81 \\ 114,86 \\ 115,92 \\ 108,81 \\ 109,35 \\ 107,80 \\ 104,79 \\ 107,69 \\ 104,41 \\ 104,05 \\ 100,00 \\ 96,33 \\ 95,79 \\ 88,69 \\ 90,01 \\ 89,60 \\ 87,70 \\ 83,29 \\ 83,70 \\ 80,03 \\ 80,21 \\ 82,28 \\ 78,28 \\ 69,72 \\ 71,61 \end{bmatrix}$	400 nm
	450 nm
	500 nm
	550 nm
	600 nm
	650 nm
	700 nm

Figura 5.75  
Cálculo matricial de los valores triestímulos. La matriz de 31 filas por 3 columnas es la versión discreta de las funciones  $f(x)$ ,  $f(y)$  y  $f(z)$  para 31 pasos del espectro visible (400-700 nm) tomados de 10 en 10 nm. El vector columna de la derecha es una versión discreta del iluminante  $D_{65}$ . El resultado (XYZ) del producto de ambas matrices son los valores triestímulos.

Un color queda definido en el Sistema CIE por medio de sus coordenadas de cromaticidad. Por ejemplo: Un color F, cuya longitud de onda es de 560 nm, tiene unos valores triestímulos según la tabla 5.74 de:

$$X=0,5945, Y=0,9950, Z=0,0039$$

la suma es  $X+Y+Z=1,5934$

Las coordenadas de cromaticidad del color F serán:

$$\begin{aligned} x &= 0,5945/1,5934 = 0,3731 \\ y &= 0,9950/1,5934 = 0,6244 \\ z &= 0,0039/1,5934 = 0,0025 \end{aligned}$$

Los valores  $x$  e  $y$  son los que se dibujan como coordenadas planas del color F. Si esto lo repetimos para todos los colores espectrales nos encontraremos con el gráfico denominado diagrama de cromaticidad CIE. (Fig. 5.41)

### 5.9.3.4 Utilización e interpretación del Locus

Puesto que cualquiera que sea el color ha de cumplirse que  $x+y+z=1$ , no existirá ningún color fuera del triángulo R-V-A llamado triángulo de Maxwell. (Fig. 5.77)

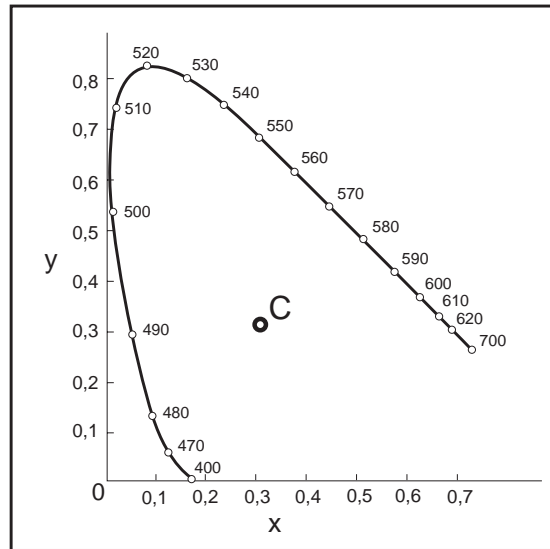


Figura 5.41  
Diagrama de cromaticidad CIE

Si unimos con una línea recta la longitud de onda de 400 nm con la longitud de onda de 700 nm nos encontraremos con la separación entre los colores reales y los imaginarios. La sensación de púrpura no puede obtenerse por medio de una sola longitud de onda. Para producir los púrpuras se necesita una mezcla de ondas largas y ondas cortas, sin que contribuyan las ondas medias en su composición. Una vez cerrado el locus por medio de la línea de los púrpuras tendremos el espacio en el que se encuentran todos los colores del espectro.

Sea un color P cualquiera (Fig. 5.78). Llamaremos longitud de onda dominante o tono del color a la intersección de la recta definida por P y el iluminante con el locus. La saturación del color viene determinada por la cercanía o lejanía del color respecto a la situación del iluminante. Cuanto más cerca esté del iluminante menos saturado es

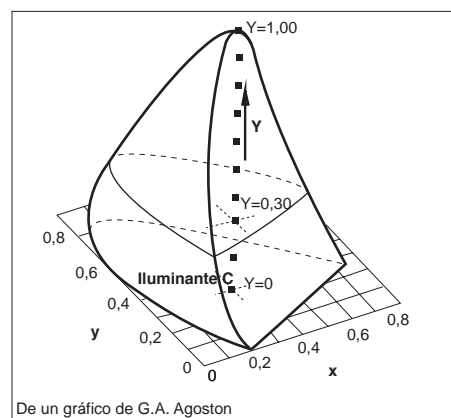


Figura 5.76

el color. Los colores totalmente saturados están en el perímetro del locus. La saturación suele darse en % de la relación de distancias existentes entre el iluminante y el locus y el iluminante y el color. En el ejemplo de la Fig. 5.78, la tinta P está definida por sus coordenadas cromáticas:

$$(x,y)=(0.375, 0.397)$$

Prolongando la recta CP encontramos el punto Q situado en el perímetro del locus, que nos marca 575 nm que es la longitud de onda dominante. La saturación del color será  $CP/CQ = 0.39$ . Diremos que el color está saturado al 39%

La tercera variable del color, el valor, viene determinado en el sistema CIE por el factor de luminosidad Y. Este factor no se encuentra en el diagrama CIE sino que se especifica aparte, como ya se ha indicado.

## 5.10 El Color en la cartografía informatizada

La informática ha impulsado los trabajos cartográficos facilitando la creación de mapas, tanto mediante la utilización de los Sistemas de Información Geográficos, que permiten plasmar de forma gráfica y georeferenciada las respuestas a las preguntas realizadas a una Base de Datos territorial, como por la facilidad y limpieza en la edición de mapas con herramientas informáticas de dibujo. El hecho de que la semiología gráfica sea la parte menos cuidada del proceso cartográfico, implica que los mapas que además de ser precisos deberían de comunicar la información de forma agradable, sencilla y eficaz, no cumplan en muchos casos con esta última condición. El color y sus enormes posibilidades comunicativas no siempre es empleado con el cuidado que se requiere. En algunos casos es el propio sistema informático el que propone al usuario soluciones cromáticas por defecto, lo cual no es ninguna garantía de que la presentación sea la óptima. Muchas veces tras la creación de un programa gráfico no existe un semiólogo que aconseje al programador informático sobre los conceptos de la gramática del color e impida que se cometan tropelías gráficas.

### 5.10.1 El color en los archivos informáticos

Se deben distinguir dos tipos de documentos gráficos: archivos vectoriales y archivos raster. Los archivos vectoriales son aquellos que contienen instrucciones de dibujo para construir una imagen compuesta de entidades (puntos líneas y superficies) definidas a partir de unas primitivas geométricas. El color se especifica como un atributo asociado a cada entidad. Los archivos raster son figuras realizadas utilizando como forma elemental el "pixel" o elemento pictórico elemental de la pantalla del monitor.

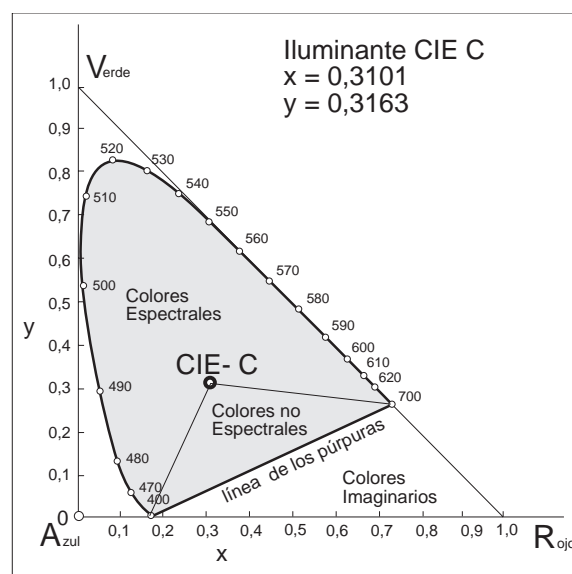


Figura 5.77

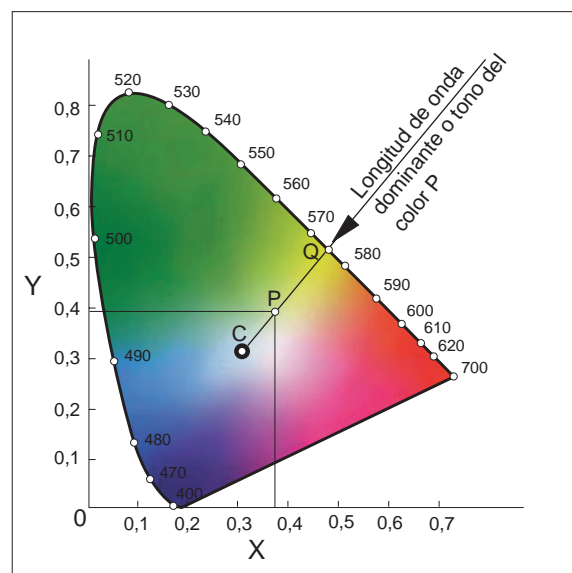


Figura 5.78

Cada pixel de la pantalla necesita para estar definido al menos tres valores: dos para su localización espacial (x,y) y un tercero que lo haga visible. Un pixel se hace visible por medio del nivel de la intensidad de disparo del cañón de electrones sobre ese punto (x,y)

Como se sabe, el bit es la mínima cantidad de información en informática. Si se asigna un único bit a la definición del color de un pixel, este pixel sólo podrá tener dos estados distintos: 0 ó 1, apagado o encendido, negro o blanco, color o no color (Fig. 5.80 y 81).

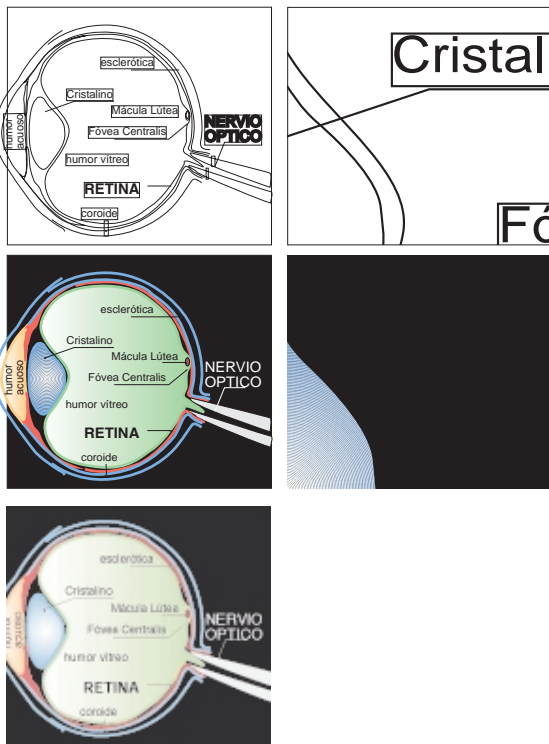
Si a cada pixel se asocian dos bits de información el pixel puede tener cuatro estados distintos: 00, 01, 10, 11. El pixel anterior podrá mostrarse con cuatro distintos tonos o valores. De forma general: número de colores= $2^n$  siendo n el número de bits asociados a cada pixel.

El número de colores disponibles en una imagen raster es completamente dependiente del número de bits disponibles por cada pixel. Este número es un factor del total de la memoria buffer asignada a la pantalla y se le conoce como profundidad de color, profundidad de bits o profundidad de pantalla.

### 5.10.2 Formas de direccionamiento

Pantalla monocroma de 1 Bit. El direccionamiento de 1 bit es con mucho la forma más sencilla de asignar un valor a un pixel: o está encendido o está apagado. No hay posibilidades de variación ni de color ni de intensidad. La enorme ventaja es que requiere muy poca memoria y sólo se necesita un cañón de electrones para la pantalla. Actualmente han desaparecido o se utilizan exclusivamente para terminales de texto.

Pantallas monocromas de múltiples bits. Una pantalla monocroma pueden tener asignados varios bits a cada pixel con objeto de poder representar valores por medio



R	G	B	
1	1	1	Blanco
0	1	1	Cyan
1	0	1	Magenta
1	1	0	Amarillo
0	0	1	Azul
0	1	0	Verde
1	0	0	Rojo
0	0	0	Negro

*Figura 5.84*  
*Las ocho combinaciones de color en un sistema de 3 bits*

de distintas intensidades del cañón de electrones. Cuanto mayor sea el número de bits asignados, más amplia será la escala de grises representable. (Fig. 5.83)

Pantallas de color de 3 bits. Si una pantalla dispone de tres cañones de electrones y a cada pixel se le asigna tres bits, podemos asignar un bit al color de cada cañón. Cada pixel de la pantalla (al que le apuntan tres cañones) tendrá entonces una tripleta de valores cromáticos asociados. Cada cañón de color puede estar encendido o apagado. Si los cañones producen luces RGB, el resultado para cada pixel puede ser una de las posibilidades de la figura 5.84.

Pantallas de color de 4 bits. Una variación de la pantalla anterior es el direccionamiento de un bit más a cada pixel para representar variaciones de la intensidad (valor) de cada color, pudiendo en ese caso obtener 16 colores. Cada uno de los 8 colores anteriores puede ser agrisado (intensidad baja) o brillante (intensidad alta). Un ejemplo son las clásicas tarjetas EGA 16 de los viejos IBM y PC compatibles.

Pantallas de color de 8 bits. Con 8 bits pueden visualizarse  $2^8=256$  colores distintos. Generalmente suelen asignarse tres bits al verde y al rojo y dos al azul (debido a la limitación de la vista humana con la gama de los azules). Para un gran número de las necesidades gráficas es suficiente con este número de colores, sin embargo para las aplicaciones cartográficas en las que a menudo se requiere recubrir superficies con distintas gamas claras de color que no perturben la lectura del contenido del mapa, este número es escaso. Un ejemplo actual de un formato gráfico de 8 bits es el formato GIF muy utilizado en los gráficos de las páginas web.

Pantallas de color de 16 bits. Estas pantallas permiten  $2^{16}=65536$  colores distintos. Este número es suficiente para todos los trabajos de cartografía en los que sea el ojo humano el que tiene que tomar decisiones. En otras oca-

siones, cuando sea el ordenador el que tiene que analizar y discriminar la información contenida en una imagen, este número puede ser escaso.

Pantallas de color de 24 bits. Actualmente la profundidad de color más utilizada es la de 24 bits que permite  $2^{24}=16.777.216$  colores diferentes. Es la profundidad de pantalla llamada True Color o Color Verdadero. En este caso se asignan 8 bits a cada uno de los colores básicos del espacio RGB, disponiendo de esta forma de 256 intensidades para cada uno. Como resultado de esos más de 16 millones de colores, se dispone de un sistema que permite más colores que los necesarios para cualquier tipo de aplicación gráfica. El problema es la enorme cantidad de memoria necesaria para manejar y direccionar el simple contenido de una pantalla, que supera los 4 Megas para un monitor de alta resolución actual (1280x1024). Un ejemplo de 24-bits es el conocido formato JPEG.

(Para conocer la profundidad del color de nuestro monitor puede hacerse lo siguiente: En Windows 3.1 mirar en Windows Setup o si se utiliza Windows 95 mirar en Display Properties. Allí está la descripción del driver de video que se utiliza y los colores que soporta. En Macintosh hay que abrir el Panel de Contros "Monitores")

Pseudocolor. Lookup table. (arquitectura LUT, color indexado o colormap). Una forma de obviar los enormes requerimientos de memoria necesarios para mostrar en pantalla el Color Verdadero son las tablas Lookup tables o arquitectura LUT que permiten extender el número de colores que pueden mostrarse. En vez de definir un color como un cierto conjunto de intensidades RGB (123,23,34), los n bits del campo de color de un pixel sirven de índice dentro de una matriz de  $2^n$ . Esta matriz puede contener una descripción de color mucho mayor (lo normal es de 24 bits). Por ejemplo, dada una tabla lookup de 8 bits dentro de un sistema de 24 bits, significa que puede disponerse de  $2^8=256$  colores a la vez, dentro de un espacio cromático de  $2^{24}=16,7$  millones de colores posibles. La técnica LUT es conocida también como Pseudocolor.

Paletas de color. se denomina paleta de color a un subconjunto de colores elegidos de todos los posibles del sistema. Una "paleta de 8bits" es un conjunto de 256 colores distintos elegidos de entre los 65.536 (16-bits) o entre los 16.777.216 (24-bits) posibles.

### 5.10.3 Reducción de color. Problemas.

Cuando se traducen imágenes de un espacio de color de alta definición a otro con definición más baja, la imagen que se obtiene está afectada de algunos problemas. Los más conocidos son el curvado o contouring y el puntillismo o dithering

El curvado o contouring. Cuando una imagen en la que la variación de colores es extremadamente suave y se tra-

R,G,B	R,G,B	R,G
123,23,34	54,87,93	123,2
45,73,122	123,23,34	45,73
23,65,98	45,73,122	23,6
54,87,93	123,23,34	123,2

LUT	R,G,B	Matriz de pixels
0	128,44,22	0 0 0 0 0 0 0
1	165,32,89	3 4 3 1 3 3 3
2	123,23,34	5 6 2 5 5 0 4
3	45,73,122	5 3 5 6 0 5 4
4	...	7 1 4 6 6 7 7
5	...	3 0 3 6 3 3 3
6	...	3 0 7 3 2 3 3
7	...	0 0 0 0 0 0 0
8	...	4 2 1 4 3 0 0

**Figura 5.85**  
 A la izquierda los valores de cada color se almacenan directamente en cada pixel. A la derecha, una representación de las LUT. Los valores de cada pixel están referidos a un índice de colores, por lo que se necesitan menos bits/pixel para los punteros que para las especificaciones del color, reduciéndose considerablemente el tamaño de los archivos gráficos si se utilizan relativamente pocos colores elegidos de la paleta total. El GIF es un ejemplo de un formato en pseudocolor.

duce desde un espacio de color de alta definición a otro de baja, en el resultado aparecen igualados muchos colores que en el original eran distintos, dando una sensación de curvas hipsométricas y siendo visibles bandas discretas de color en lo que anteriormente había sido un cambio continuo.

**Puntillismo o dithering.** Cuando se intenta visualizar una imagen de 24 bits en un monitor que sólo dispone de 8 o 16 bits, el sistema hace una transformación para mostrar la información original con los medios disponibles, que son menores. Debe hacer un puntillismo de la imagen a base de los colores que dispone, para darnos una aproximación a los colores originales.

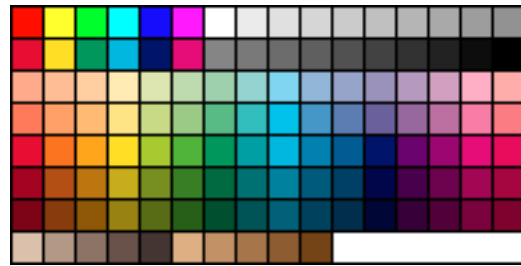
### 5.10.4 Algunas correcciones elementales.

Para mejorar la visualización de las imágenes raster en pantalla pueden introducirse dos correcciones. Una afecta al color y es la corrección de gama y la otra afecta al aspecto y es el antialiasing o suavizado de bordes de las imágenes.

#### 5.10.4.1 Corrección de gama.

Con el fin de que las imágenes de pantalla se ajusten a las curvas de nuestra percepción, se utiliza la corrección de gama. En términos sencillos lo que se intenta es que a variaciones constantes de voltajes le correspondan variaciones constantes perceptivas. Podríamos resumir la necesidad de la corrección por gama diciendo:

- 1.- La intensidad de color observada en una pantalla no está directamente relacionada con los voltajes aplicados.
- 2.- Los voltajes se derivan de valores numéricos existentes en la memoria buffer de pantalla
- 3.- La corrección de gama ajusta valores (y por lo tanto también voltajes) con el fin de proporcionar respuestas

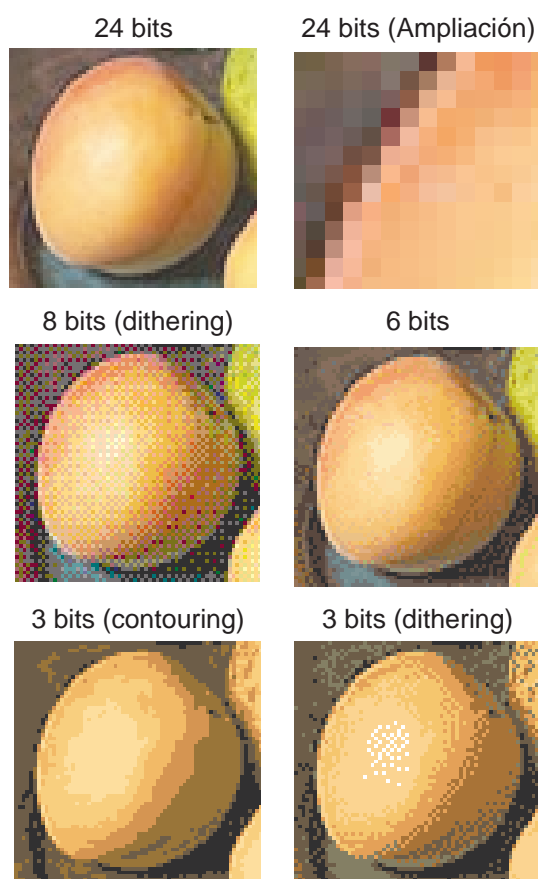


**Figura 5.86**  
 Una paleta de color del programa Adobe Photoshop 4.0. Un subconjunto de colores del total disponible



**Figura 5.87**  
 Las paletas del sistema son los conjuntos de colores elegidos por los fabricantes de cada sistema operativo. Arriba la del sistema de los ordenadores Macintosh. Debajo la del sistema Windows. Debajo del todo una paleta que muestra los colores del espectro ordenados. Una paleta que se utiliza en la actualidad con mucha frecuencia es la paleta WEB o paleta 6x6x6. Esta paleta es el conjunto de los colores que son comunes a las paletas de los sistemas operativos de Macintosh y Windows y que permite garantizar la consistencia de los colores en las páginas web, sea cual sea la plataforma que se utilice para la creación de las páginas y para su visualización.





**Figura 5.88**  
 La misma imagen procedente de un espacio de color de 24 bits vista en otros espacios de color más reducidos.

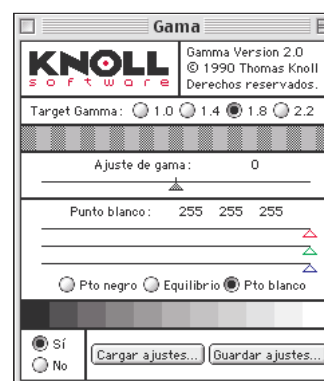
perceptivas consistentes.

4.- La corrección de gama no es uniforme ni para todos los programas ni para todas las plataformas.

5.- Aplicar la corrección de Gama no es lo mismo que aumentar o disminuir el "brillo". Esto último lo que hace es aplicar una cantidad constante a todos los pixels de la imagen mientras que la corrección por gama aplica una corrección no constante a todos los pixels resultando una imagen perceptualmente más ajustada.

### 5.10.4.2 Filtro Antialiasing.

Para evitar los desagradables dientes de sierra de las imágenes raster o bitmap, los programas de visualización suelen disponer de un filtro llamado antialiasing, que genera una escala de grises en los contornos de las figuras con el fin de dulcificar el resultado. Es particularmente desagradable el efecto dientes de sierra en las líneas de los mapas de pantalla.

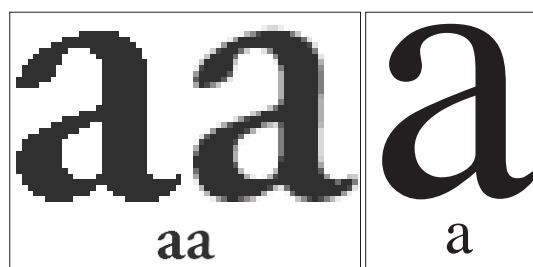


**Figura 5.89**  
 La herramienta de corrección de gama

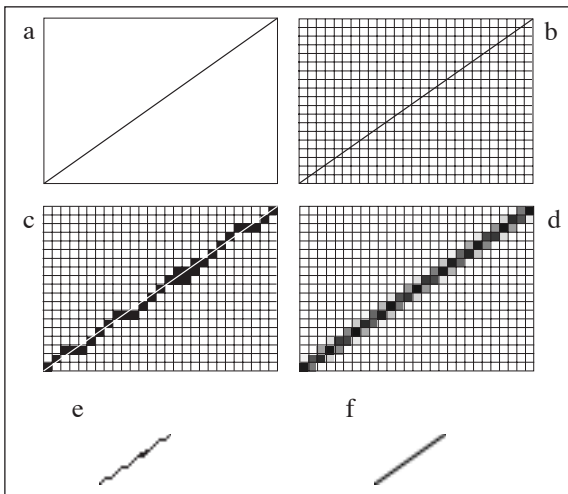
### 5.10.5 Compresión de imágenes

El enorme tamaño de las imágenes definidas como 24bits impide, con los actuales procesadores estándar, un rápido manejo de la información. Una pantalla de 640x480 pixels de superficie por 24 bits de definición del gráfico supone aproximadamente 1 megabyte de tamaño. Si se pretende que el sistema informático permita manipular imágenes con una velocidad similar a la del cine (unos 24 pantallas por segundo) se necesita que la tarjeta de video pueda presentar 1 Megabyte por cada 1/24 de segundo.

Una forma de mostrar esa enorme cantidad de información es reducir por medio de algoritmos de compresión, los tamaños de las imágenes. Comprimir una imagen es encontrar una forma para que la información ocupe menos. La compresión de una imagen puede realizarse sin pérdidas de información (puede volverse a reconstruir el archivo original gráfico) o con pérdida de información (no puede volverse a obtener el archivo original), siendo lo que se obtiene una imagen que ha perdido parte de la información que se supone que no es esencial.



**Figura 5.90**  
 Letra bitmap sin filtro de suavizado (antialiasing) y con el filtro aplicado. A la derecha, en cuadrado aparte, la misma letra en formato vectorial (PostCript)



**Figura 5.91**  
 Una línea (a) dibujada en un sistema raster, atraviesa una serie de píxeles o elementos gráficos más pequeños (b), activándolos (c). El resultado (e) es una línea que muestra desagradables dientes de sierra. Para evitar este tosco aspecto, el filtro antialiasing crea alrededor de los bordes, una transición por medio de grises (d), tomando la línea un aspecto (f) más dulcificado

### 5.10.5.1 El Formato GIF.

Es un formato de 8-bit ( $2^8=256$  colores) o menor que no pierde información en la compresión. Un gráfico de pantalla de 8-bit se almacena en la memoria del ordenador como una cadena de números entre 0 y 255. Si pudiéramos observar esa cadena de números comprendidos entre 0 y 255 que describen los colores, comprobaríamos que habría muchos números consecutivos iguales debido a que en el gráfico hay zonas más o menos extensas con el mismo color. Cada uno de los píxeles que definen una zona de un único color tienen el mismo número. En vez de almacenar, por ejemplo, 234 veces seguidas el color número 212, es más sencillo decirle "los siguientes 234 números son iguales a 212", para lo cual sólo son necesarios unos pocos bytes de memoria. Este es el fundamento del algoritmo de compresión del formato GIF y de otros similares. Este formato es tanto más eficaz cuanto mayores sean las zonas de un mismo color y no será útil cuando el gráfico cambie constantemente de color de pixel en pixel.

Por ejemplo:

Cadena: DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD

Equivalente a: 21D

Compresión 7:1

BBBBBBBBBBBCCCCFDDDDDDDDDDDDDDDDDD

10B4C1F15C

Compresión 3:1

### CARTOGRAFIA

1C1A1R1T1O1G1R1A1F1I1A

Compresión 1:2 (no hay compresión sino expansión)

El formato GIF un formato de compresión bueno para la mayoría de los gráficos en los que puedan encontrarse grandes cadenas repetidas: tintas planas, mapas, gráficos.

### 5.10.5.2 El formato JPEG.

Es un formato que trabaja con imágenes de 24-bit. Para ello, la tarjeta de video debe manejar este tipo de formatos (TrueColor). El algoritmo de compresión de JPEG quita de forma inteligente parte de la información del gráfico que no es imprescindible. Si miramos detenidamente una imagen original y su compresión con JPEG, comprobaremos que con una compresión de 10:1 apenas sabremos diferenciar una de otra. Si hacemos una compresión de 100:1 observaremos que los pequeños detalles han desaparecido. Con este formato aunque pueden obtenerse archivos muy pequeños, no siempre es recomendable su uso. Este formato es adecuado para fotografías

## 5.11 LA SEMIOLOGIA DEL COLOR SEGUN JACQUES BERTIN

Todos los que han escrito sobre Semiología tienen en Jacques Bertin la fuente de su inspiración. Las líneas que siguen son un reconocimiento a su obra y una vulgarización de los trabajos del maestro.

Los tonos totalmente saturados no tienen entre sí un valor similar, esto es, no tienen el mismo gris aparente sino que su valor varía de un color a otro (Fig. 5.100). Este hecho es el que conduce a la mayoría de los errores en el empleo del color en cartografía.

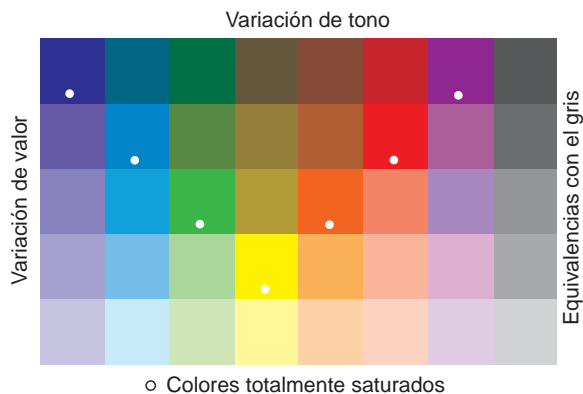
La gama de los colores totalmente saturados (Fig. 5.101a) es un continuo que corre desde el rojo al violeta mostrando variaciones de luminosidad. Ese continuo puede clasificarse en un número discreto de tonos (b) que puede ser tan extenso como queramos, pero que el uso popular ha reducido a siete -rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta- denominada gama del espectro de los colores. La gama de los colores del espectro totalmente saturados muestra variaciones de valor aparente (luminosidad).

Bertin afirma que "Cada una de las dos regiones del espectro que se forman a ambos lados del amarillo forman una gama ordenada. El color más claro, el centro de la "ventana óptica" es el amarillo. Para cualquier otro nivel de valor el ojo encuentra una pareja de colores. El orden de los valores no se corresponde con el orden de la gama espectral.". Sin embargo en la práctica con archivos informáti-

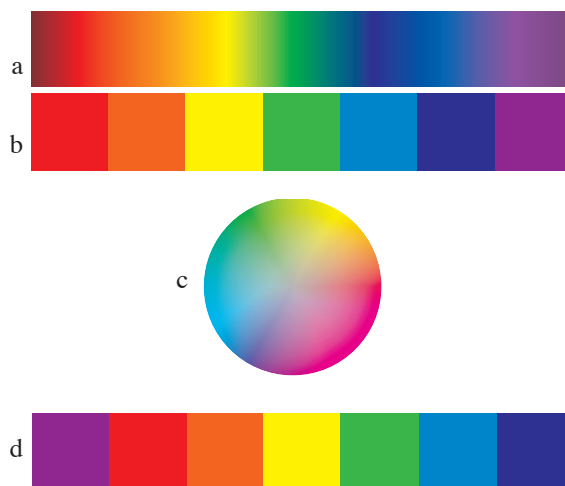
cos visibles en la pantalla de un ordenador, tanto en el espacio HSL como en el espacio HSV eso puede ser discutible. Aunque en efecto el amarillo parece ser el más luminoso de la serie espectral totalmente saturada, sin importar el número de los tonos de esa serie (Fig. 5.102), es también cierto que la observación de la Figura 5.101 (c) nos indica que hay tres máximos de luminosidad, correspondientes al amarillo, magenta y cian, en tanto que también parecen existir tres mínimos luminosos correspondientes al rojo, al verde y al azul añil. A pesar de eso, (Fig. 5.102), las propiedades perceptivas visuales permiten ordenar los colores por medio de sus valores creando dos regiones bien diferenciadas a partir del amarillo que se mantiene común para ambas.

La información que se presenta en la figura 5.103 muestra como un fenómeno que perceptualmente puede ser observado por medio de los tonos ordenados mediante su luminosidad aparente, deja de serlo cuando la información se dispone por medio de una gama de doble entrada (fría y caliente). Esto se debe a que la percepción de las variaciones de valor tiene más fuerza que la percepción de las variaciones de tono.

En la figura 5.105 se han situado seis tonos con un valor similar al del gris 70%. En la parte baja de la figura se han colocado de formas diferentes. Ninguna recolocación muestra un orden. Cuando el valor aparente es constante el tono no proporciona un orden espontáneo. Cada cual



**Figura 5.100**  
*Los colores marcados con un circulito blanco son tonos totalmente saturados. No es difícil admitir que el amarillo es el más luminoso y que el azul o el violeta son los perceptualmente más oscuros. A la derecha se ha situado una columna de grises cuya oscuridad relativa es similar a los colores de las filas correspondientes de la izquierda. Se comprueba que el valor de los tonos totalmente saturados es variable*

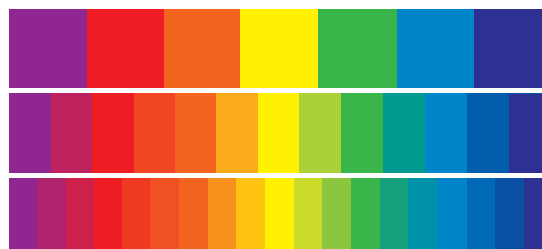


**Figura 5.101**

dispondrá los colores en un orden diferente. Los tonos, a igualdad de valor no tienen la propiedad ordenada

En la figura 5.106 se muestran los valores de cada provincia con una representación a base de tonos de valor constante. No podemos afirmar, sin ver la leyenda, que ninguna provincia tenga más importancia que otra. Por lo tanto el tono -a igualdad de valor- dispone de la propiedad asociativa.

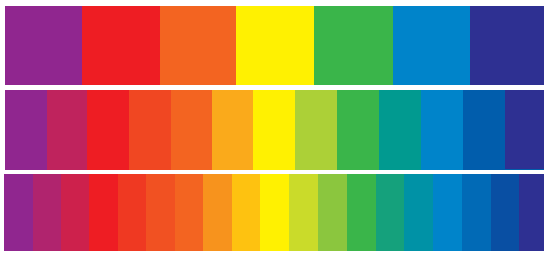
También podemos fácilmente distinguirse grupos: el grupo de las provincias azules, el de las provincias rojas o



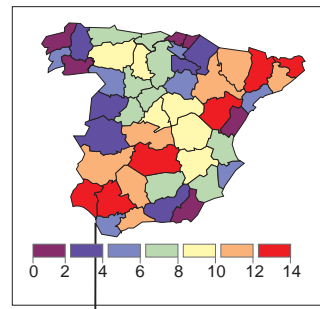
**Figura 5.102**

verdes. Por lo tanto los tonos a igualdad de valor tienen la propiedad selectiva. Sin embargo, esta selectividad no es igual de potente para todos los valores aparentes. De hecho, en la figura 5.106 no es muy difícil aislar de un golpe de vista el grupo de provincias rojas o azules brillantes, pero cuesta más trabajo aislar las provincias verdes, más trabajo las azules verdosas y más trabajo las pardas.

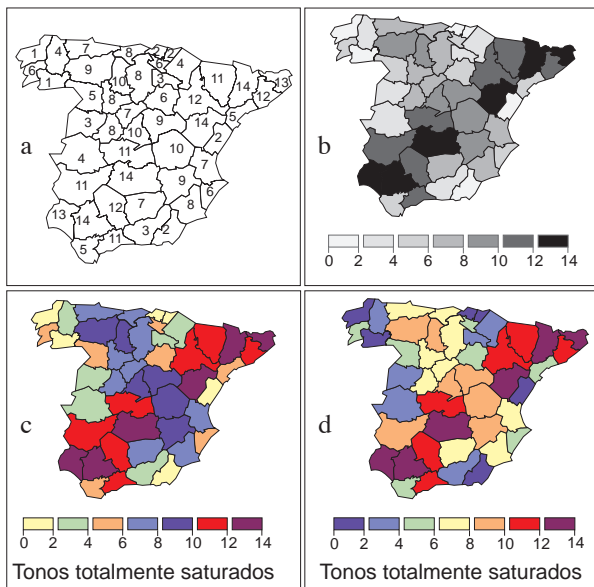
Observando la tabla de colores de la figura 5.107 vemos que dado un valor, es decir sobre una línea horizontal, cuanto más nos alejamos del punto de saturación, más se agrisan los colores, cumpliéndose que la selectividad es máxima cerca del color saturado y disminuyendo con el alejamiento.



**Figura 5.102**  
 Con el amarillo en el centro pueden crearse dos gamas de valor distintas en el espectro de los colores. Una a la izquierda, la de los tonos fríos y otra a la derecha, la de los tonos cálidos. No es fácil afirmar que cada pareja simétrica respecto al amarillo tenga la misma claridad aparente, pero no nos cuesta afirmar que a partir del amarillo hacia un lado u otro la claridad parece disminuir. Por lo tanto las dos gamas de tonos que se forman (fría y cálida) son ordenadas, aunque no podemos garantizar que la mezcla de ambas gamas produzca otra gama también ordenada.



**Figura 5.104**  
 Aunque la información aportada por la observación de 5.103(d) no sea fácil de leer, al menos, el peso cultural asociado a los colores, que nos dice que una gama de azules muestra algo opuesto a una gama de rojos. En la figura actual se ha modificado de sitio el último de los colores, el violeta, disponiéndolos en el orden espectral correcto. Este hecho conduce a crear un gran confusiónismo visual y no es posible hacerse una idea de la distribución máxima y mínima del fenómeno.

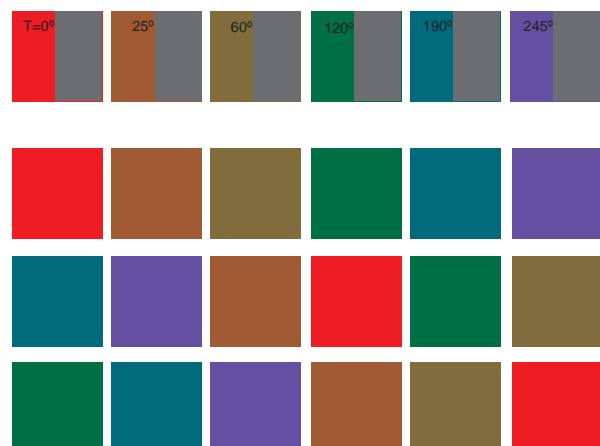


**Figura 5.103**  
 En (a) se muestran los valores numéricos que toma un cierto fenómeno en cada provincia. Al representarlo en (b) mediante una gama de grises se observa que el fenómeno muestra una distribución con máximas en la dirección NE-SW, y que los valores medios toman una distribución NNW-ESE. Al representar el fenómeno en una gama ordenada por valores aparentes (c) la distribución perceptual se mantiene. Si suponemos que la media del país está entre 6-8, podemos aplicar una gama fría de azules donde los valores estén por debajo de la media y una gama cálida donde sea superior a la media. Perceptualmente se pierde la claridad de la información anterior, y no es fácil crearse una imagen mental de la distribución del fenómeno. Al intentar leer la información de un golpe de vista aparece una información errónea: creemos que lo más claro es donde el fenómeno se da con menor intensidad.

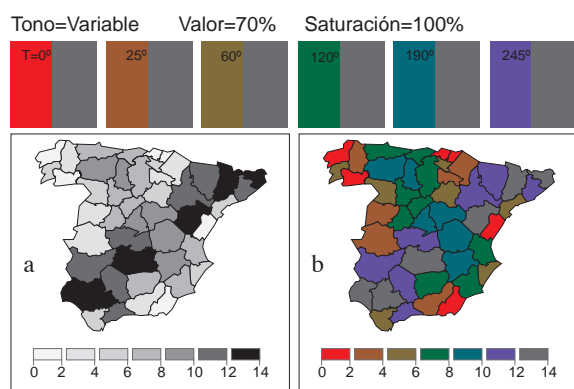
En la figura 5.107 se han aplicado todos los tonos de la tabla a una colección de mapas que muestran por simple observación que:

a.- La selectividad es distinta para cada uno de los tonos en cada mapa, pero siempre los más saturados son los más selectivos. En 5.107 a) los más selectivos son el azul y el violeta de los extremos, que son los totalmente saturados. En b) son el azul celeste y el rojo, en c) son el verde y el naranja y en d) es el amarillo el que sobresale de los demás. Al rebajar el nivel de luminosidad de los tonos en e) es el amarillo, el más cercano a un tono totalmente saturado, el que conserva alguna capacidad de selectividad. El resto casi ha perdido su potencia selectiva.

b.- Como consecuencia de lo anterior, para los mapas que se quieran colorear con valores claros, se deberán utilizar tonos cercanos al amarillo, esto es, gamas que corran del



**Figura 5.105**  
 Los tonos, a igualdad de valor, no muestran un orden



**Figura 5.106**  
A igualdad de valor los tonos no muestran un orden

verde al naranja. Los valores claros del azul, del violeta, del púrpur y del rojo están agrisados y por lo tanto son muy poco selectivos.

c.- Las gamas selectivas más amplias se encuentran en la horizontal que tiene al naranja y al verde totalmente saturados, la figura 5.107c. En esta horizontal los rojos y los azules no están demasiado agrisados todavía y el amarillo central, aunque ya ha iniciado un camino hacia el marrón, todavía mantiene su esencia.

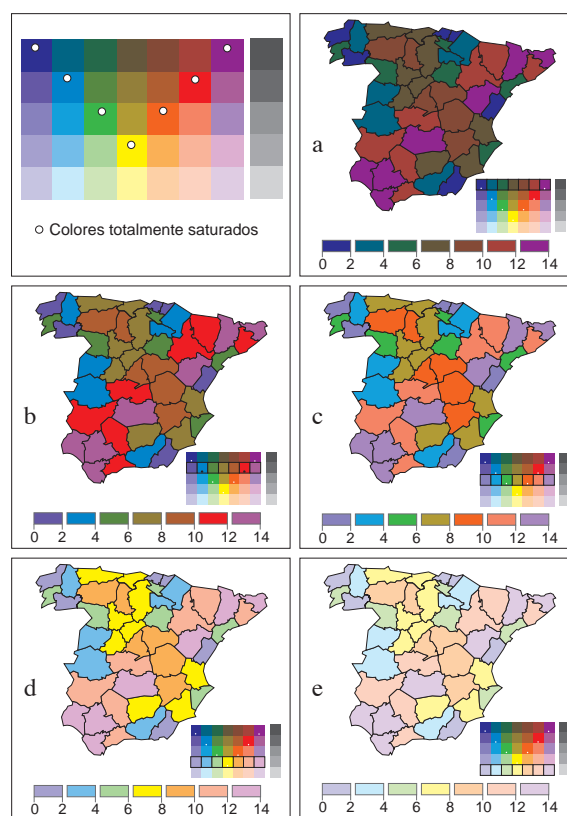
d.- Si se necesita usar fondos muy oscuros hay que tener presente que excepto el azul fuerte y el violeta, los demás son pocos saturados y en especial, los verdes, naranjas y sobre todo el amarillo, pierden su potencia selectiva al agrisarse desmesuradamente y apagarse. (Fig. 5.107a) Estos tres últimos pierden casi sus diferencias.

## 5.12 Los significados asociados al color

Los colores, como se ha encargado de estudiar la psicología, están asociados con sensaciones. Aunque en muchos casos esta asociación es cultural, parece estandarizado el uso de ciertos colores para mostrar ciertos fenómenos. Tal es el caso del frío que se asocia con el azul, del rojo que se asocia con el calor, de lo verde con lo húmedo, de lo amarillo con lo seco, etc. A la hora de representar fenómenos deben tenerse en cuenta estas tradiciones culturales y utilizar el sentido común.

En la figura 108 A parece evidente que debe representarse el Partido Socialista por medio del color rojo y al Partido Popular con el azul. Incluso en sus propios emblemas aparecen estos colores como dominantes. Los otros dos, al ser minoritarios, tendrán que conformarse con otros colores, a pesar de que el partido de Izquierda Unida se considere a sí mismo más "rojo" que el PSOE...

La escena binaria de la figura B podemos representarla



**Figura 5.107**  
Aplicación de tonos de valor constante. Cada fila horizontal de la tabla de la primera figura son conjuntos de tonos con un valor similar. La aplicación de esos tonos equivalentes produce diferentes sensaciones, haciendo que la selectividad del color se vea modificada de uno a otro

como queramos. La información puede considerarse tanto cualitativa como ordenada. Si la consideramos ordenada aplicaremos el tono más oscuro a lo más importante.

Las escenas secuenciales, de la que C es un ejemplo, pueden en la mayoría de los casos representarse con valores de gris. Es más, el negro es el color que más valores admite. También puede utilizarse un tono (D) para representar ese tipo de secuencias. Tanto más oscuro cuantos más valores distintos se necesiten. El uso del color también tiene connotaciones optimistas y pesimistas y ciertos colores -el marrón por ejemplo- es un ejemplo claro de color poco alegre mientras que en G el gráfico tiene un aspecto más juvenil. Aprovechemos estas connotaciones para indicar con nuestros mapas seriedad, alegría, lujo, camaradería, actualidad, tradicionalidad, frescor...etc.

La escena D representa fenómenos opuestos -paro y ocupación- que la G. Ambos mapas están obtenidos con el

mismo conjunto de datos. La primera pone interés en que sean muy visibles las provincias donde el empleo es máximo. Es una información que presentaría el equipo de cartógrafos al servicio del partido gobernante. La G pone el énfasis en las provincias con más desempleo. Es el mapa que realizarían los servicios de cartografía de alguna cen-

tral sindical. En ambos casos, sin embargo, el color está mal aplicado. El D que debería ser un mapa "optimista" puesto que es gubernamental, utiliza colores sombríos que no ayudan a engañar al lector. Por el contrario, el G que debería presentar un panorama tenebrista presenta datos negativos en una escena primaveral. Ambos deben

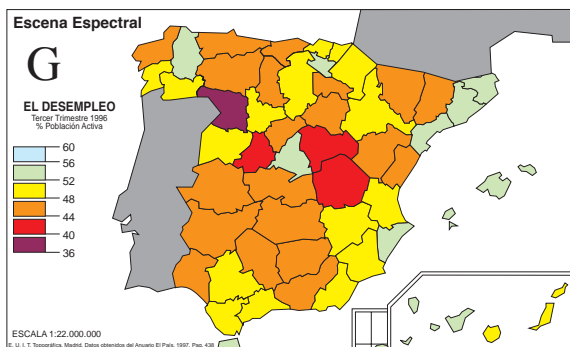
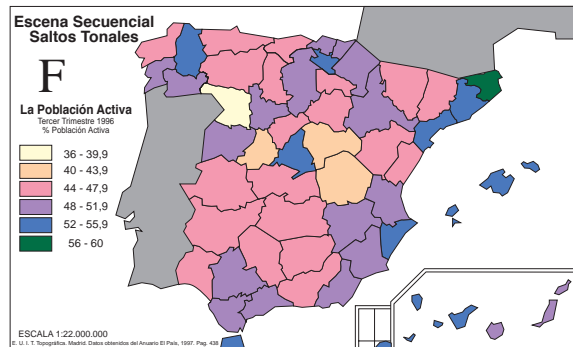
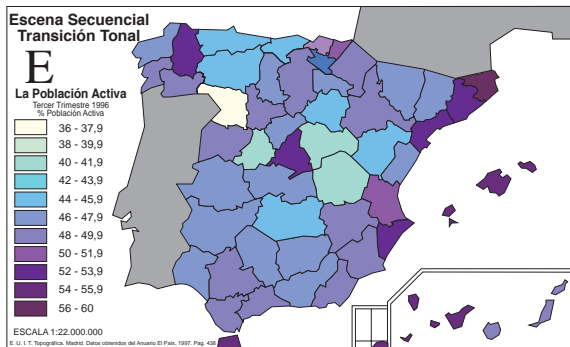
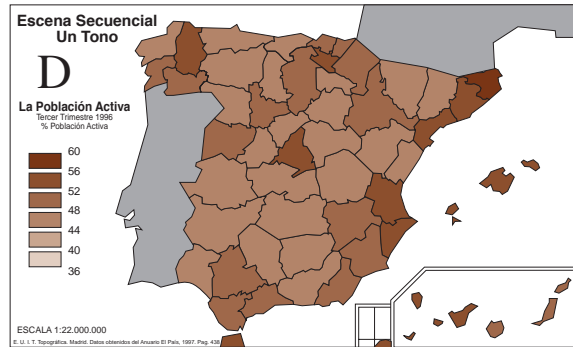
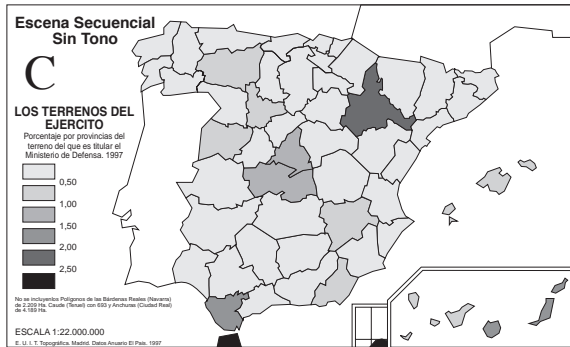
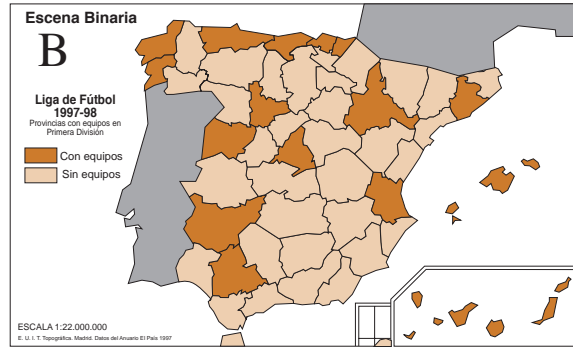
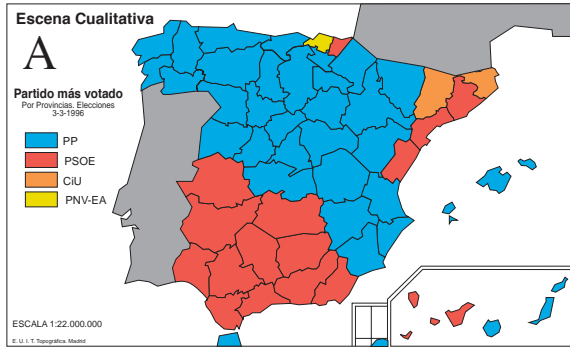


Figura 5.108

cambiar de cartógrafos.

El E es un ejemplo de una mala cartografía realizada por un equipo que a base de querer representar el máximo número de intervalos, consigue que apenas sean distinguibles unos de otros. Aunque se ha utilizado un camino cromático que pasa desde el amarillo al azul pasando por el verde, el número de tramos es excesivo y a la percepción no le resulta sencillo aislar de un golpe de vista todas las provincias con el mismo valor. Una información similar pero mucho más clara se obtiene de la visión del mapa F en el que se han utilizado menos intervalos tonales con valor aparente creciente para representar el incremento del fenómeno.

Se aprovecha para hacer notar la diferencia de facilidad de lectura entre los números asociados a los intervalos de la leyenda y unos casos y en otro.

Murray, J. et al. (1996). *Encyclopedia of Graphics File Formats*. O'Reilly & Ass.

Poynton, Ch. (1996). *A Technical Introduction to Digital Video*. New York. J. Willey & Sons.

Westland, S. (1999). *FAQ about Colour Physics*. v.1.1. <http://colourware.co.uk/cpfaq.htm>

### 5.13 Bibliografía

---

Bertin, J. (1967). *Semiologie Graphique*. Gauthier-Villars/Mouton. Paris.

Brown, A. (1982). "A new ITC Color Chart Based on the Ostwald System". *ITC Journal*. 1982. Vol 2.0

Brewer, C.A. (1989). "The development of Process-Printed Munsell Charts for selecting Map Colours". *The American Cartographer*. Vol.16. Num. 4

Brewer, C.A. (1992). "Review of colour terms and simultaneous contrast research for Cartography". *Cartographica*. Vol.29. N° 3-4

Brewer, C.A. (1994). "Color Use Guidelines for Mapping and Visualization". Chapter 7 (pp. 123-147) en *Visualization in Modern Cartography*. A.M. MacEachren y D.R.F. Taylor (Ed.). Elsevier Science, Tarrytown, NY.

Brewer, C.A. (1994). "Guidelines for Use of the Perceptual Dimensions of Color for Mapping and Visualization". *Color Hard Copy and Graphic Arts III*. J. Bares (Ed.) Proceedings of the International Society for Optical Engineering (SPIE). San Jose CA. Febrero 1994. Vol. 2171. pp. 54-63.

Durrett, H.J. (Ed.) *Color and the computer*. (Academic Press). Orlando. Florida. U.S.A

Hall, R. (1989). *Illuminatio and Color in Computer Generated Imaginery*. Springer-Verlag. New York.

Kobayashi, S. (1987). *A book of colours*. Kodasha International

LeRoy et al. (1989). "Color Science for Imagin Systems" en *Physics Today*. Septiembre 1989. pp. 44-52