

# Conceptos Básicos sobre Anatomía, Fisiología y Física del Color (Primera Parte)

Ing. Qco. Elías Jorge Matta\*

\*Instituto de Tecnología Celulósica,  
Facultad de Ingeniería Química, Santia-  
go del Estero 2654, 3000 Santa Fe.  
Instituto de Desarrollo Tecnológico para  
la Industria Química (INTEC) UNL – CONI-  
CET, Guemes 3450, 3000 Santa Fe. Uni-  
versidad Nacional del Litoral, República  
Argentina. ematta@intec.unl.edu.ar

## 1. Introducción

El tema color cobra cada día más relevancia social e individual, abarcando aplicaciones tan diversas como salud, rehabilitación de la visión, reproducción electrónica y tratamiento digital de imágenes, así como la producción de pigmentos para innumerables productos cotidianos. Cualquier aproximación técnica al tema color resulta bastante difícil, dada la complejidad del tema, especialmente los relacionados con fisiología humana, neuro-receptores y las funciones cerebrales. Como agravante, por diferentes motivos atendibles - incluyendo las diferencias en el lenguaje de las diversas disciplinas científicas concurrentes, muchos conceptos se han vuelto confusos o simplemente equívocos, generando errores en todos los niveles educativos, los que se extienden a los trabajos de divulgación o investigación científica. El concepto primario de percepción del "color" está indisolublemente unido a los seres humanos y su evolución genética, anatómica y fisiológica, especialmente a nivel cerebral. El color es sin dudas una "creación" de la mente humana. Pero esta "destreza" de los seres humanos tiene un patrón tan coherente y consistente con los fenómenos físicos de su entorno que no puede ser considerado "subjetiva"; dicho de otro modo, no es función de cada individuo o independiente del mundo exterior. Esto es una realidad, cotidianamente aplicable y aplicada, más allá de las diferencias en "destreza" entre individuos e incluso entre diferentes poblaciones humanas. ¿Es esta una

**Resumen.** Se analizan y describen conceptos básicos sobre la Visión del Ser Humano, en el contexto de su medio ambiente histórico. En la primera parte se revisan los conceptos físicos relevantes (luz solar, descomposición por el prisma, dispersión y absorción de luz, entre otros) y varias definiciones colorimétricas como mezcla aditiva de colores luz, mezcla sustractivas, colores primarios, colores complementarios y representaciones del color por espectros de reflectancia.

nueva demostración de la evolución y adaptación de la especie en la Tierra que conocemos? No hay a la fecha certeza científica sobre este punto, mucho menos sobre los detalles de tal evolución. Pero no cabe duda alguna que la visión humana está indisolublemente unida al medio físico y a la luz en donde ha crecido, igual que sus antepasados.

Algún científico bien intencionado escribió "...sólo los seres vivos perciben color. Un mundo sin seres vivos es simplemente gris". Nunca sabremos exactamente "como se ve" el mundo fuera de la mente humana, pero sin ninguna duda, nunca será "gris".

Por esta última certeza responde la Física, de la cual provienen todos los conocimientos sobre la luz y la materia, independientemente de la *visión humana*, mas no de su *mente*. Habrá al menos un acercamiento a este punto en el escrito. El presente trabajo aspira a clarificar algunos conceptos fundamentales sobre los aspectos científico-técnicos del color. Están por lo tanto fuera del escrito los tópicos que - a pesar de su importancia, aún no han alcanzado las características de mensurables, no poseen Standard internacionalmente aceptado o son simplemente herramientas comerciales. Usualmente caen dentro de estos marcos actividades como publicidad, ambientación, decoración, moda y algunas líneas de la arquitectura.

El texto se ha dividido en dos partes. En esta primera parte se desarrollaran conceptos referentes a la Luz y el Color, así como los relacionados al Color de los Objetos cotidianos. En una futura segunda parte, se tratarán tópicos específicos sobre la Visión de los seres humanos y el actual sistema Standard que regula el manejo del Color y la Colorimetría.

Se ha incorporado un breve Glosario - al final del trabajo, a fin de colaborar con el lector en la comprensión del texto.

## 2. Sobre la Luz y el Color

### 2.1 Luz Solar

#### 2.1.1. Experimentos con Prismas.

El "espectro electromagnético" de la luz solar (Figura 1) va desde longitudes de onda ( $\lambda$ ) muy cortas, menores a 10-3 nm (rayos Gama) a ondas mayores que  $10^{+12}$  nm (radio frecuencia). Afortunadamente para la vida en el planeta, la mayor parte de la radiación de corta longitud de onda - alta frecuencia y consecuentemente de alta energía, no llega a la superficie, refractada por la ionosfera y dispersada por la atmósfera. La Figura 2 muestra la radiación solar a nivel del mar. Nótese que la radiación incidente va de los 330 a los 2400 nm, pero más del 40% de la energía se concentra entre los 400-700 nm, esto es el rango del espectro que conocemos como "visible". Otro tanto pasa con el Infra-rojo (IR) cercano, dejando al Ultra Violeta (UV) cercano menos del 10% del total (Sunscreen Pty Ltd., 2010). Cuando se hace pasar esta mezcla de luz solar por un prisma, la misma se descompone (se separa) de acuerdo al índice de refracción de cada  $\lambda$ : gran desviación para las longitudes cortas como el UV, mucho menor para las largas como el IR (Figura 3). El resultado es una abanico de luces monocromáticas - esto es, de ondas simples, con dos parámetros bien definidos: un longitud  $\lambda$  característica y una longitud de onda dominante (*dominant wavelength, DWL*); la DWL generalmente coincide - aunque no siempre, con el  $\lambda_{\text{máx}}$  del rango considerado (Figura 4) (Mark et al, 1983).

## El Espectro Electromagnético

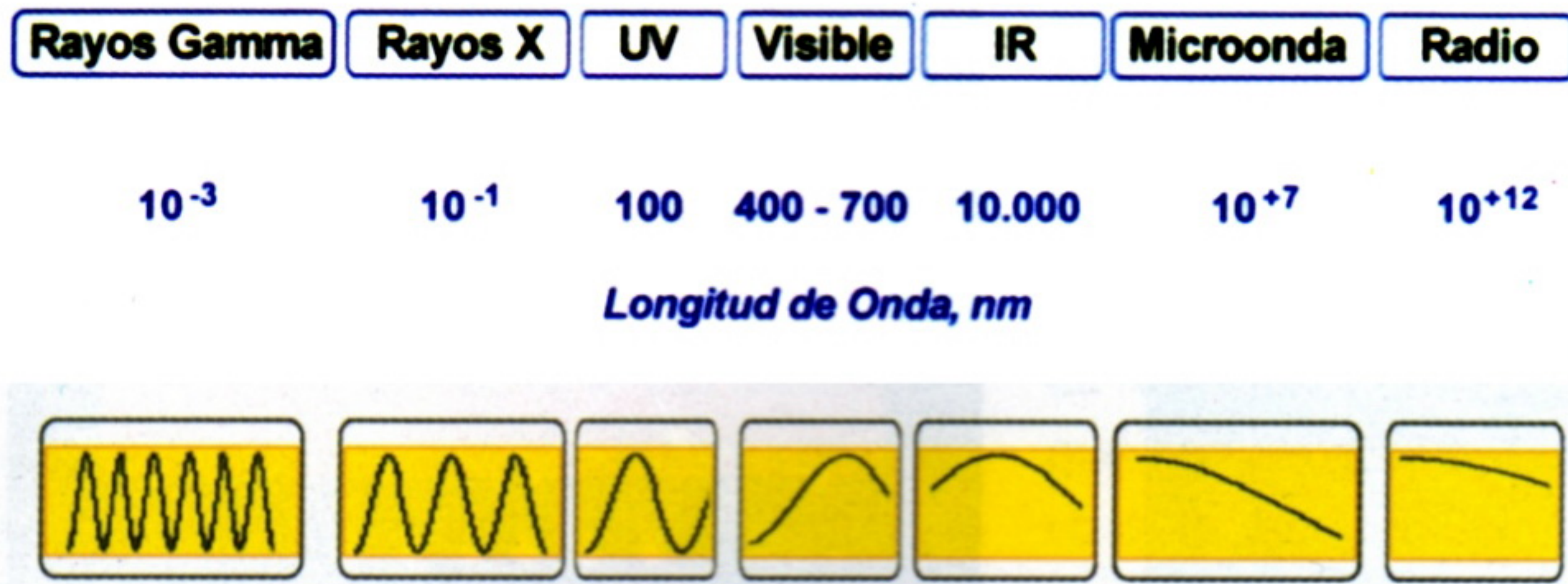


Figura 1. El espectro electromagnético de la luz solar

Solar Spectrum (ASTM G173-03)

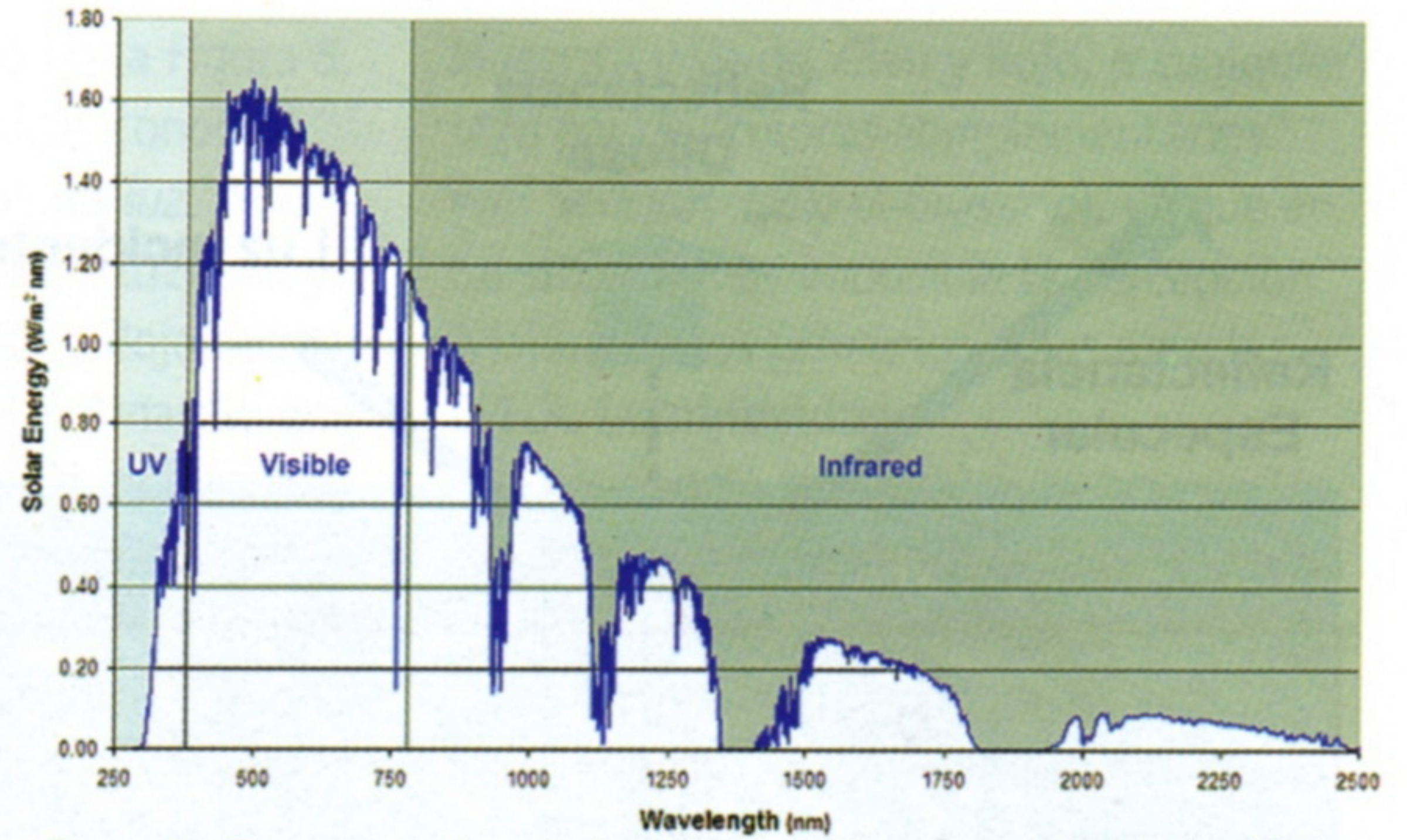


Figura 2. Espectro solar al nivel del mar (Sunscreen Pty Ltd., 2010).



Figura 3. Descomposición de la luz solar.

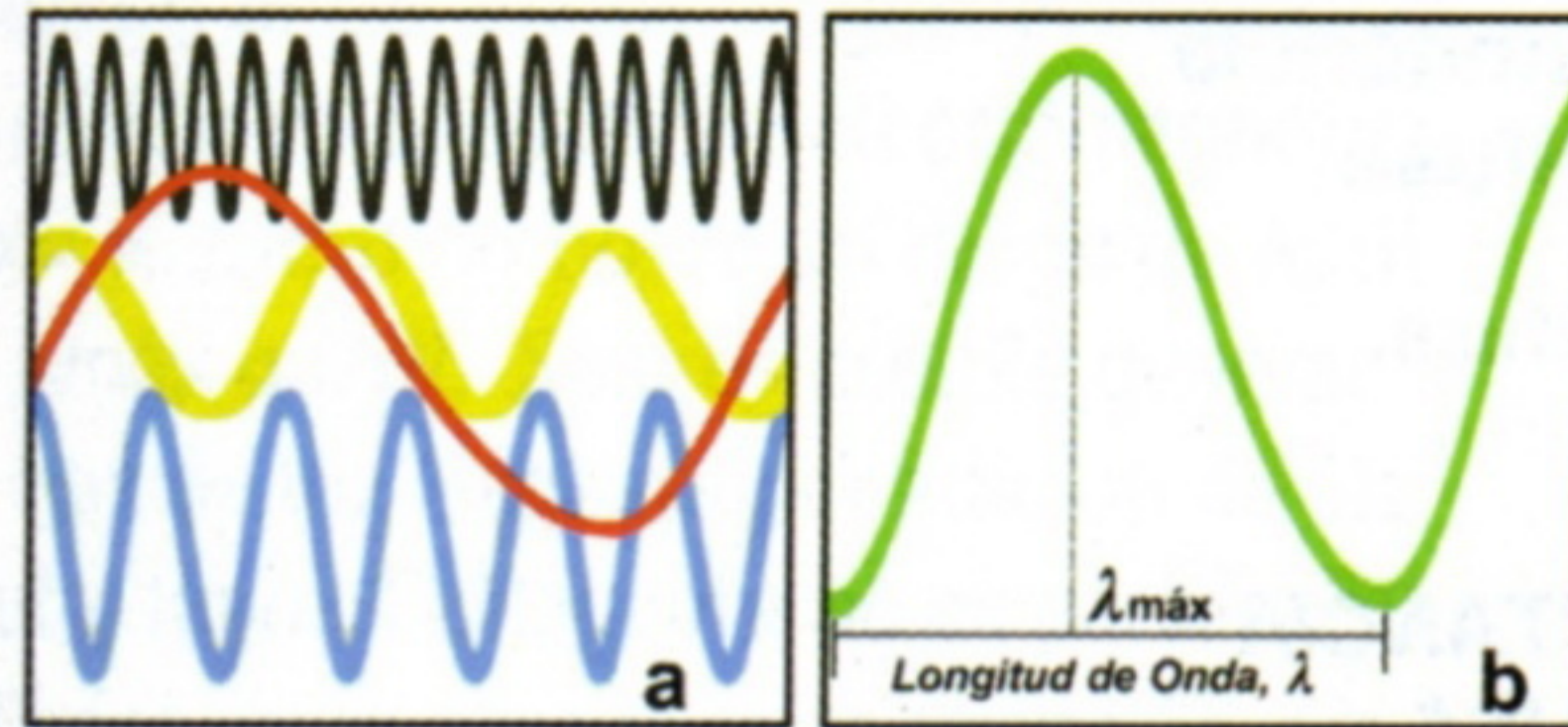


Figura 4. En (a), un haz policromático. En (b), una onda simple monocromática.

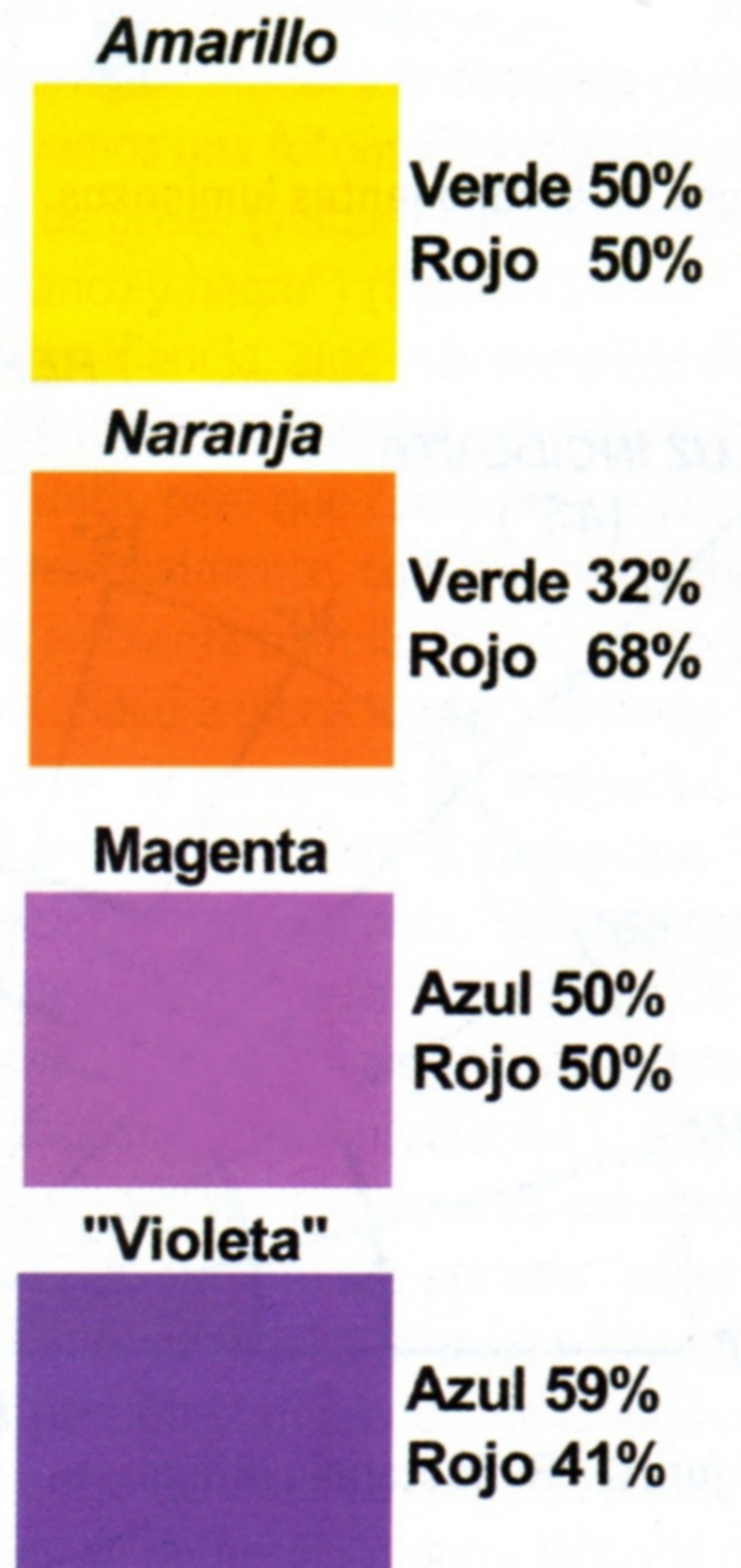


Figura 6. Colores resultantes de la mezcla de dos primarios, en diferentes proporciones.

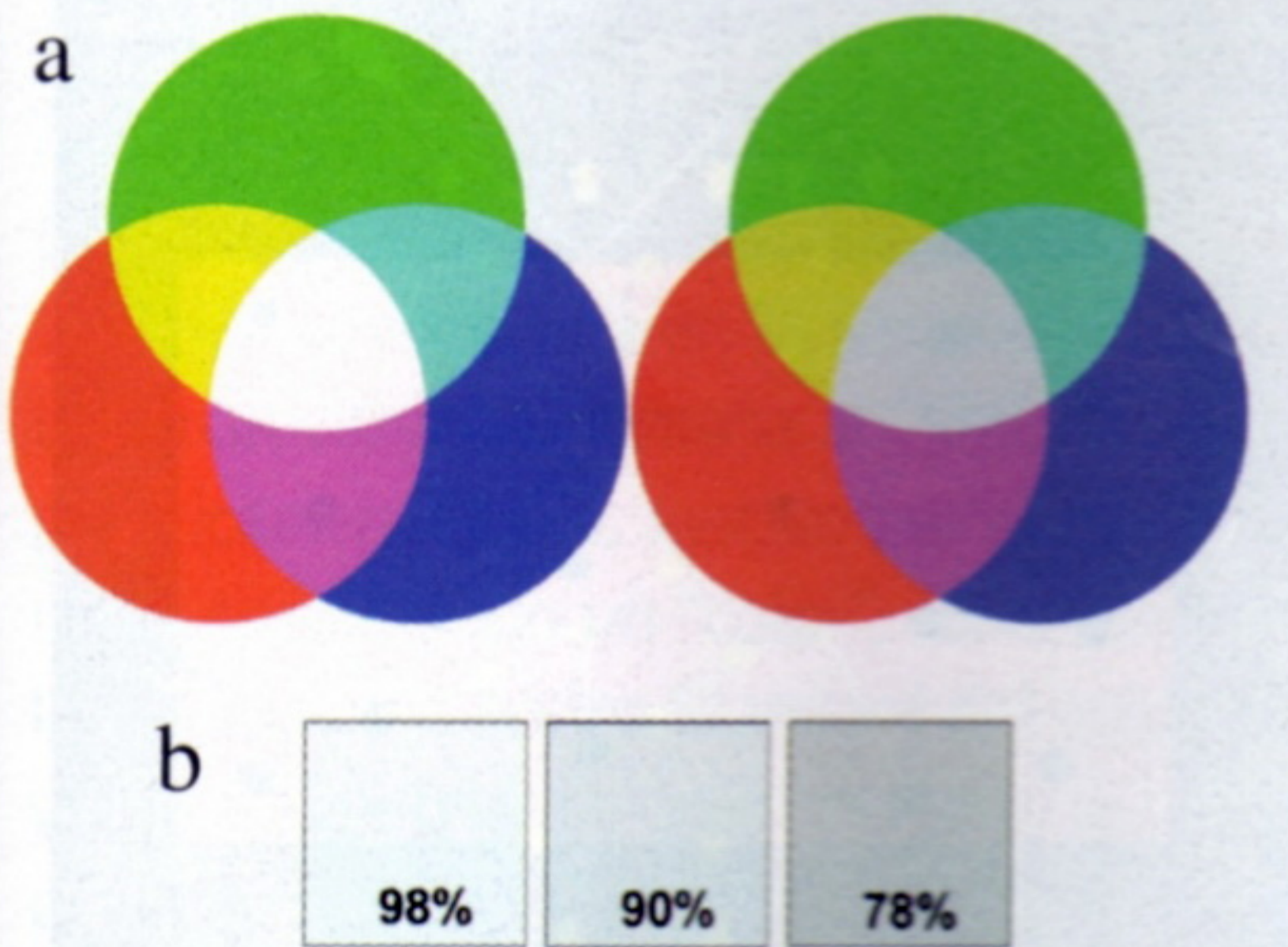


Figura 8. La percepción de la luminosidad.

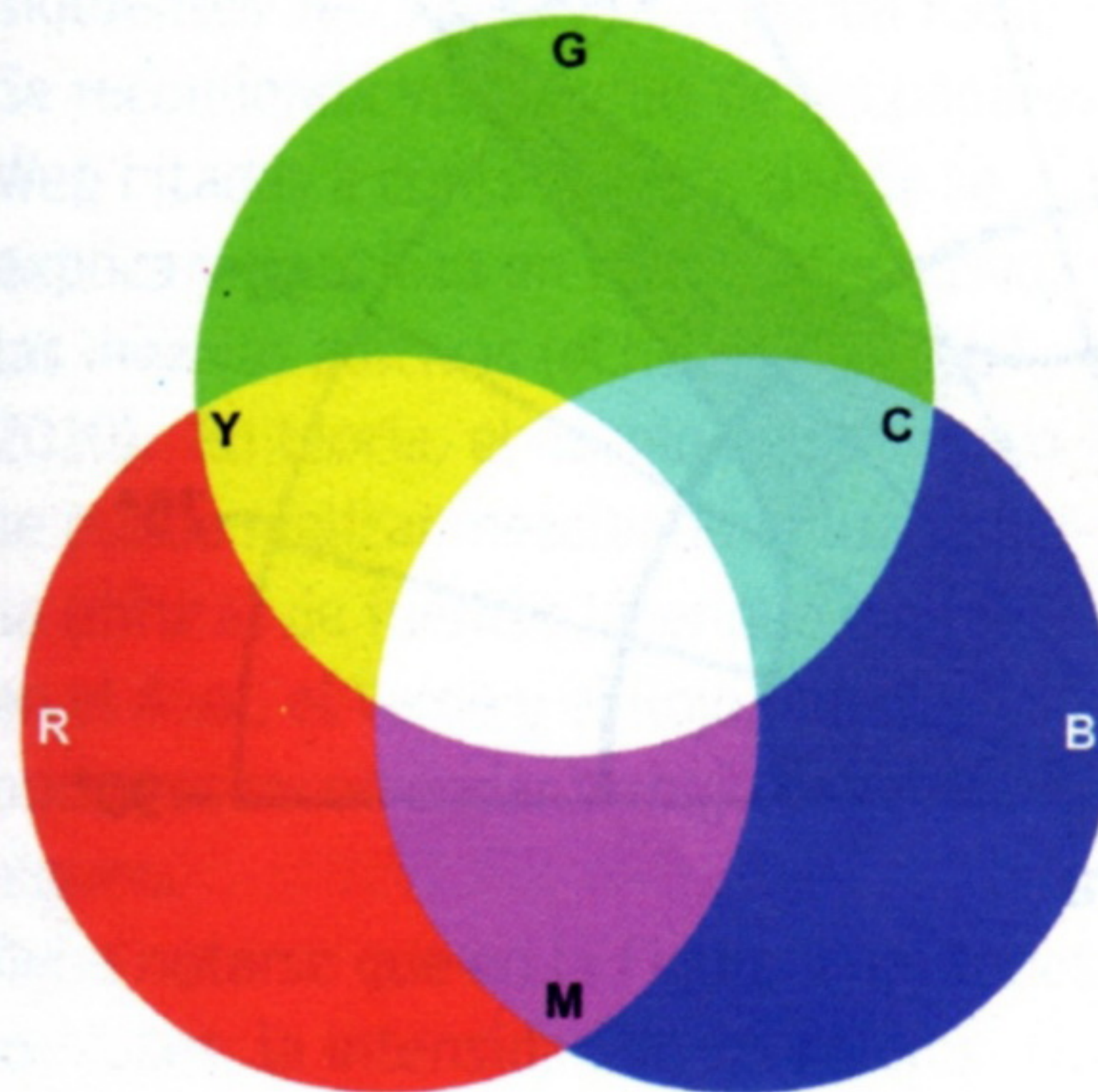


Figura 5. Mezcla Aditiva de Colores Luz

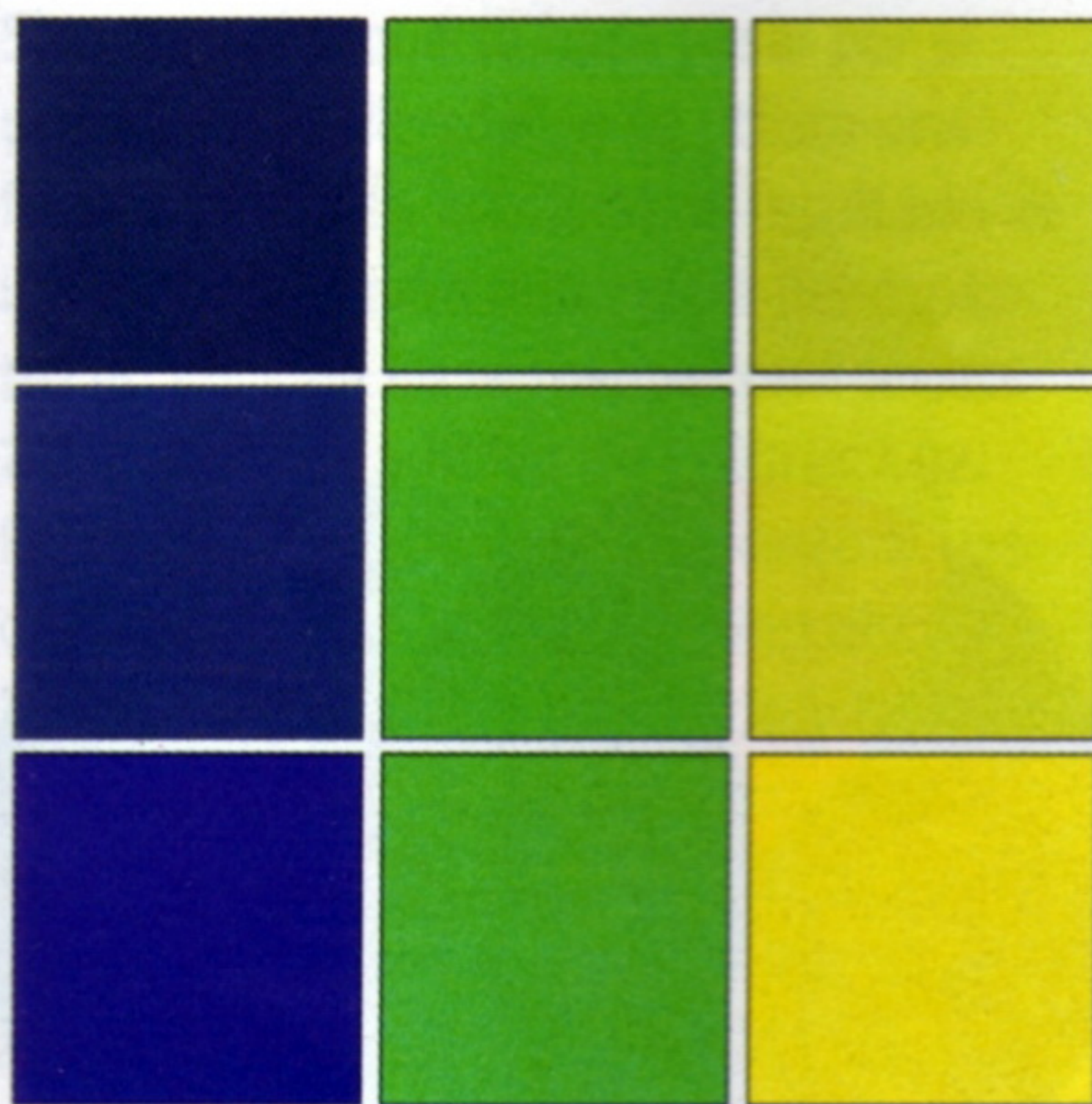


Figura 9. Nueve colores, tres niveles de luminosidad.



Figura 7. Imagen a todo color (a).

La misma, en tonos de gris (b).

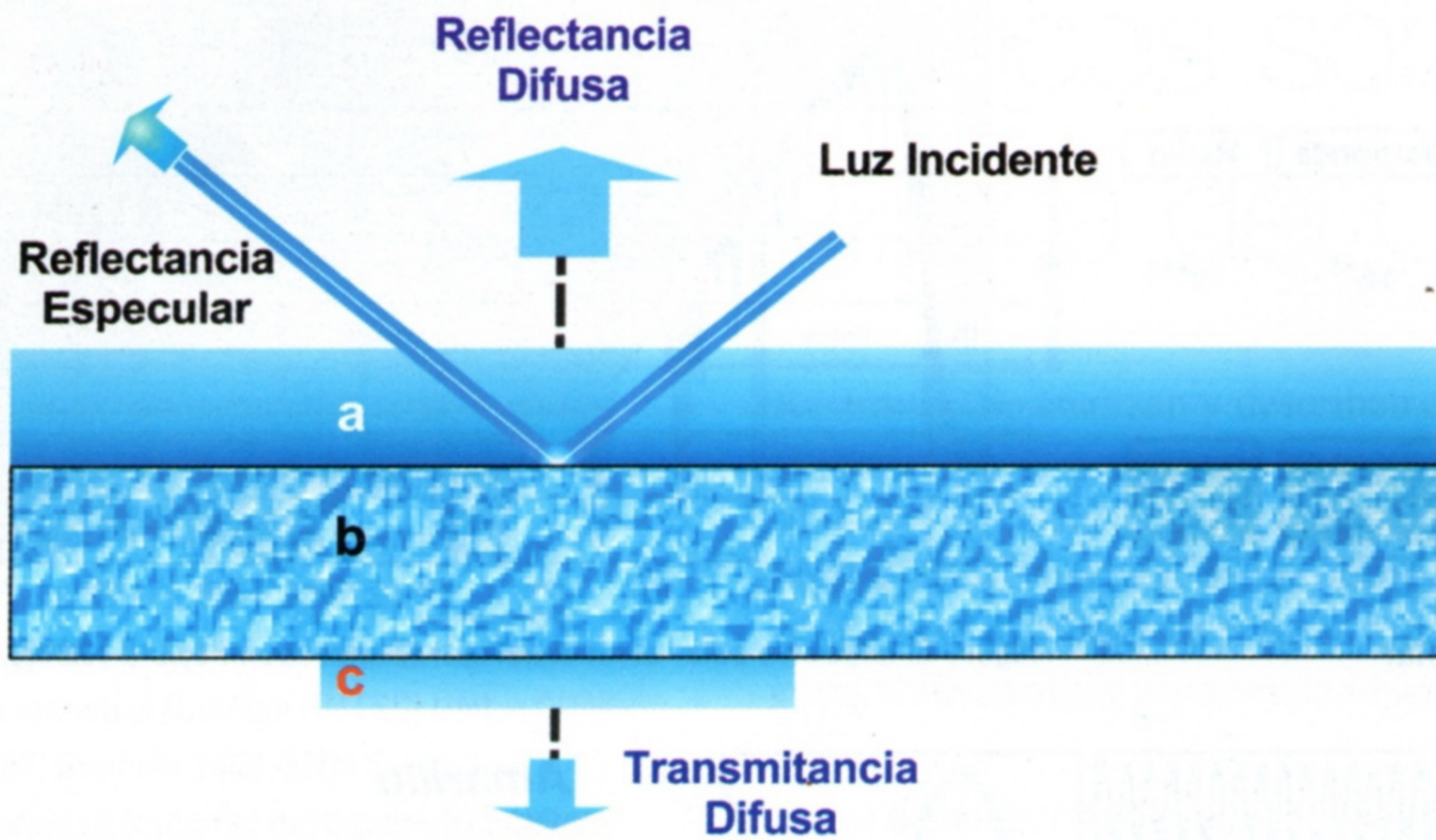


Figura 10. Componentes luminosos. Luz Difusa.

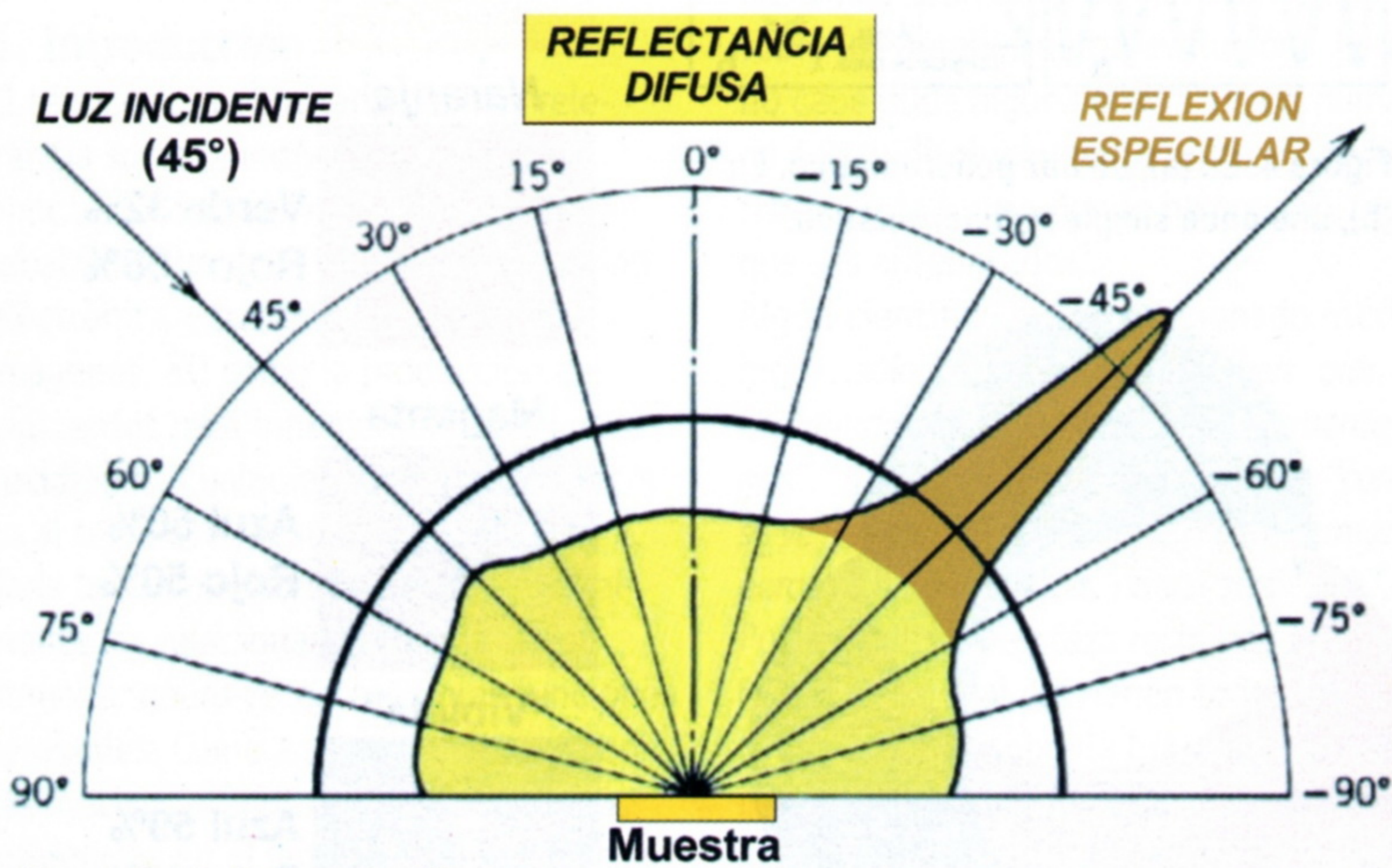


Figura 12. Reflectancia difusa.

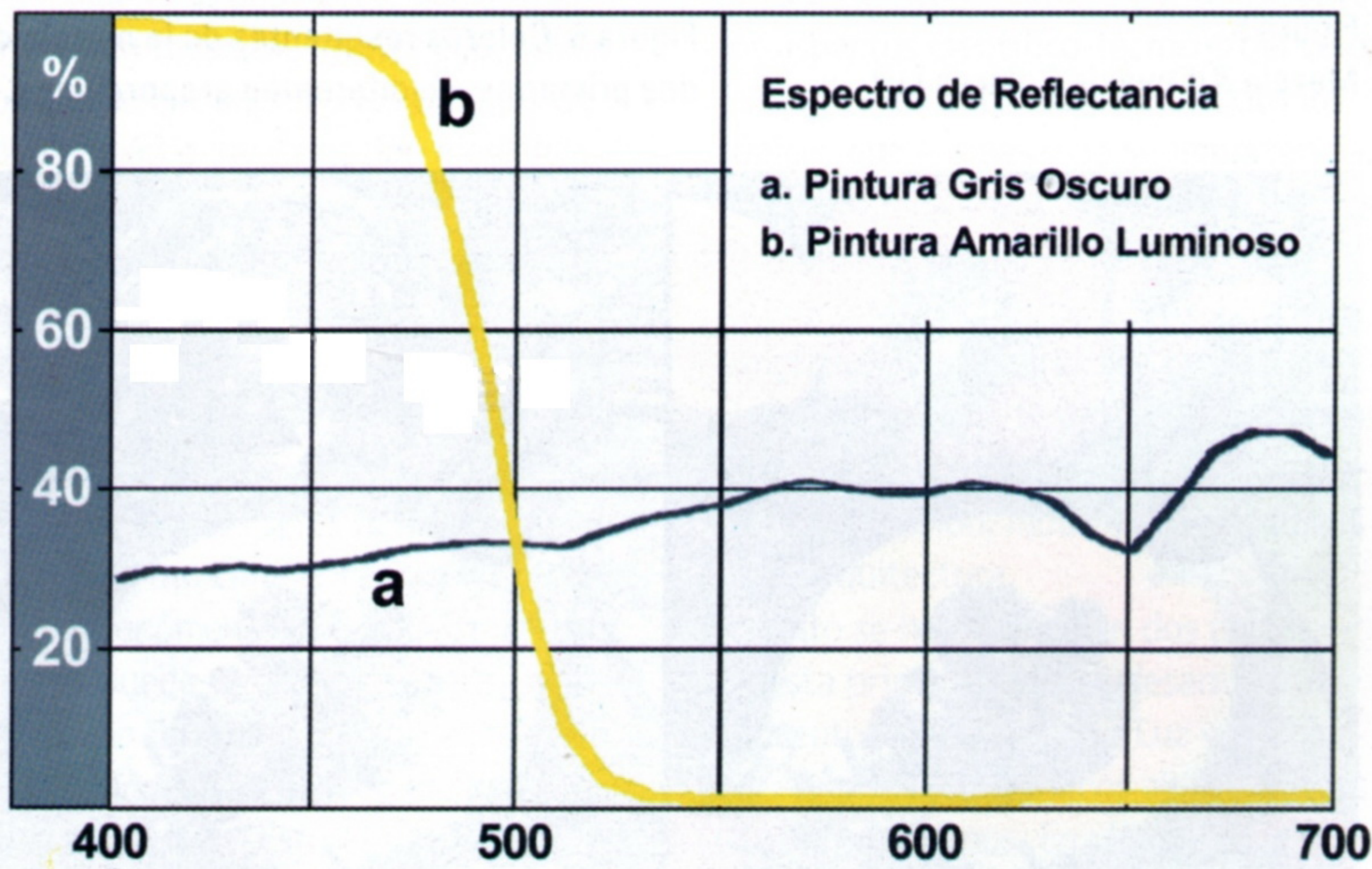


Figura 14. Espectro de reflectancia de dos pinturas.

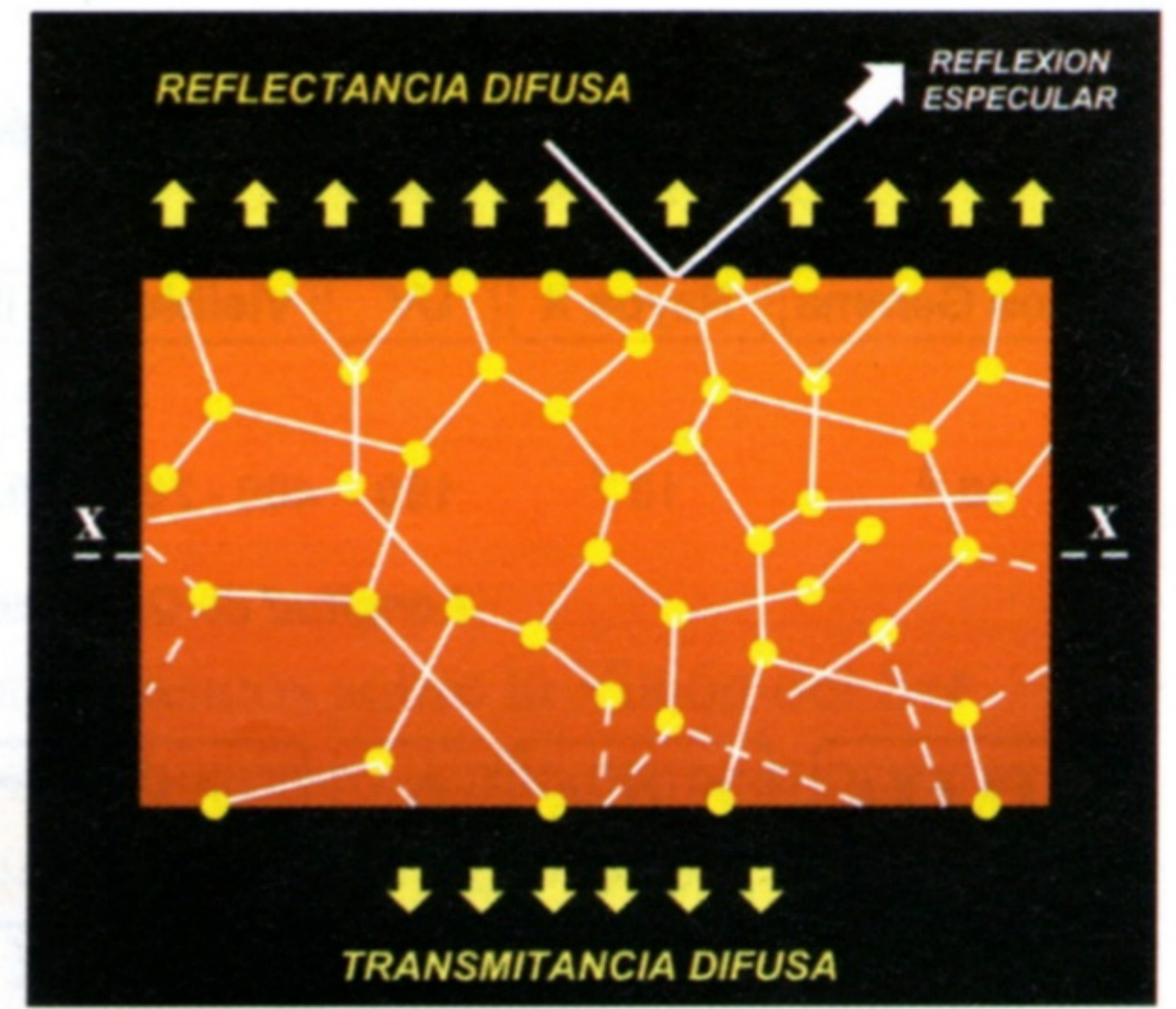


Figura 11. Dispersión luminosa.

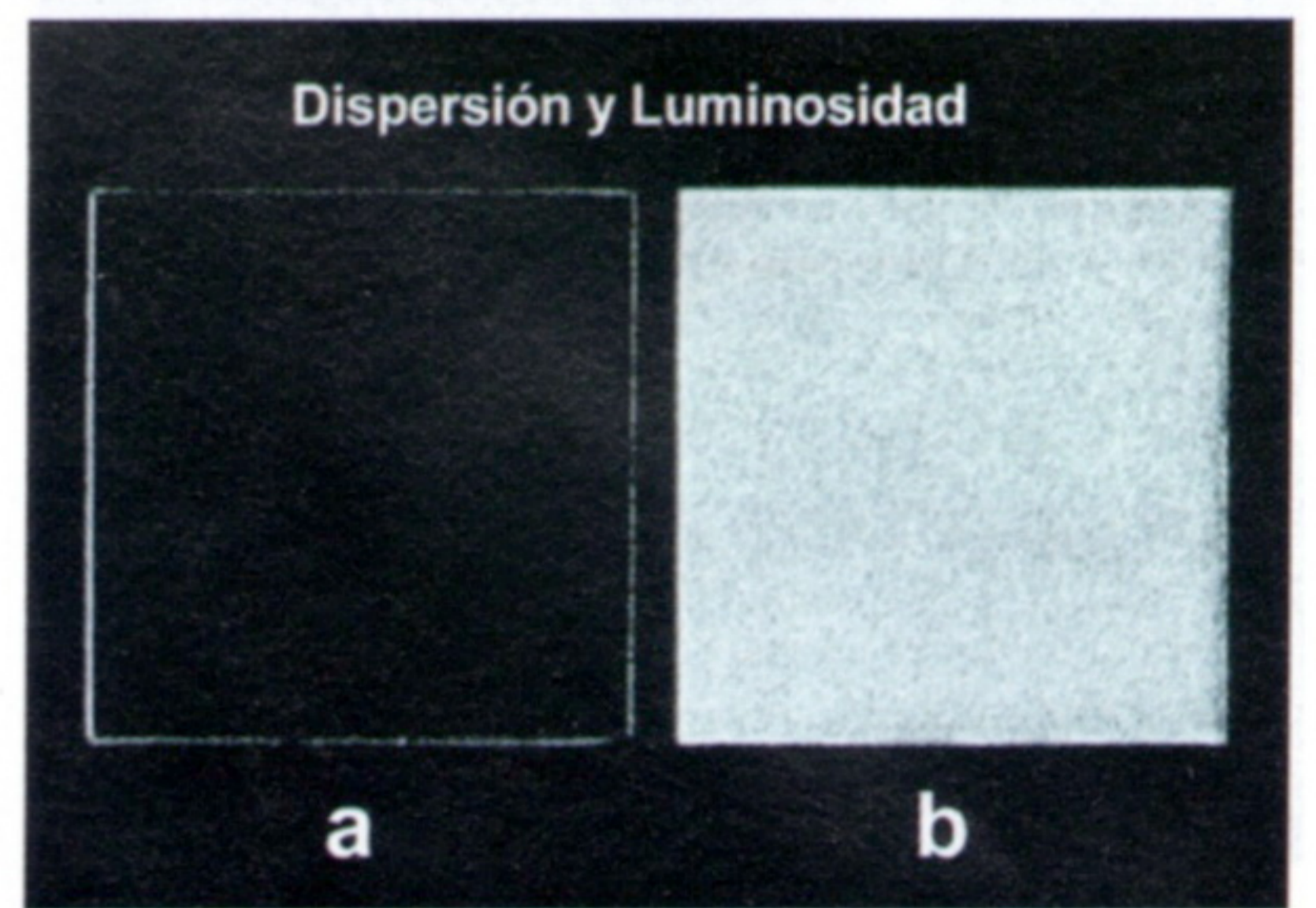


Figura 13. Dispersión luminosa en dos vidrios

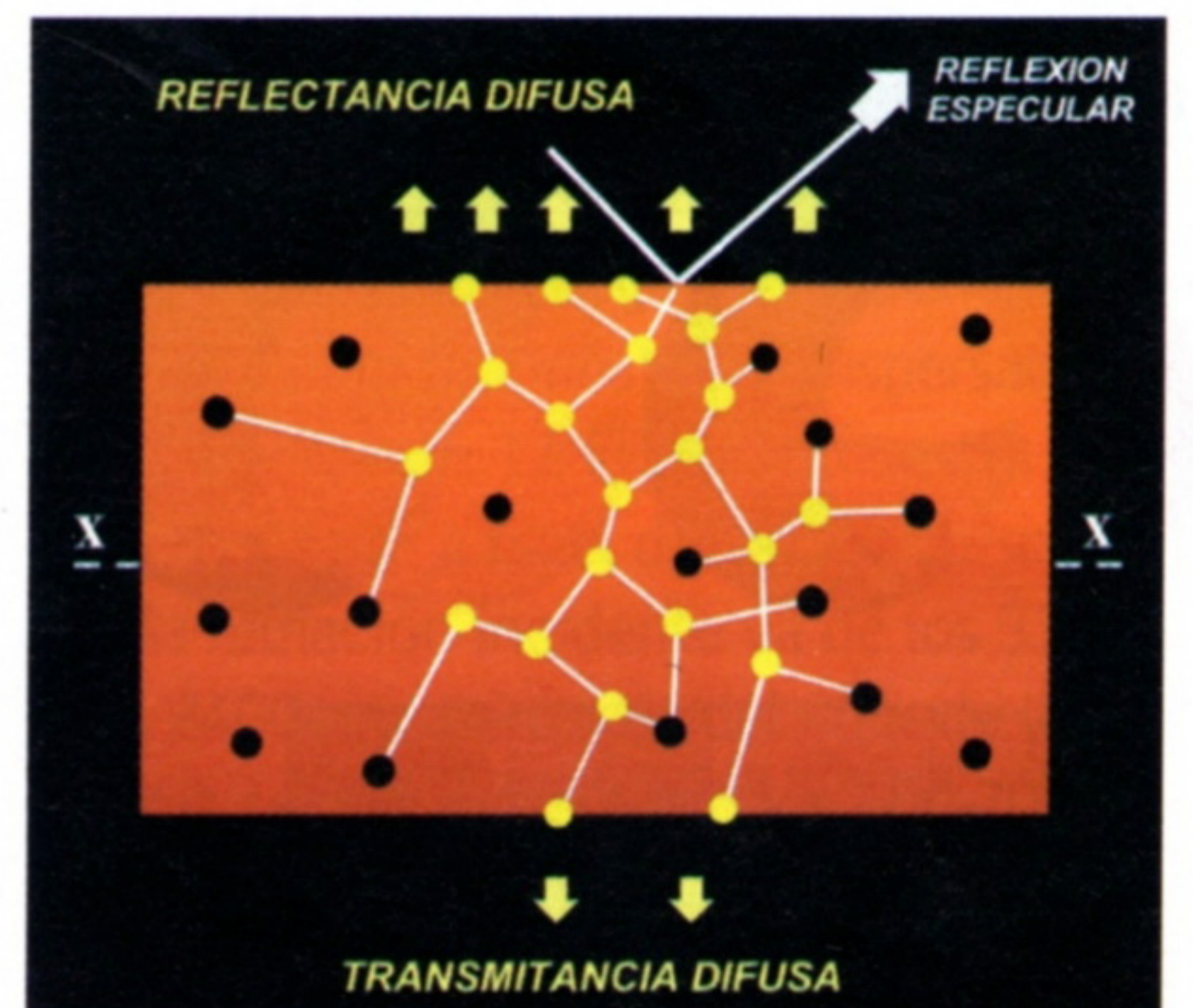


Figura 15. Dispersión con absorción luminosa.

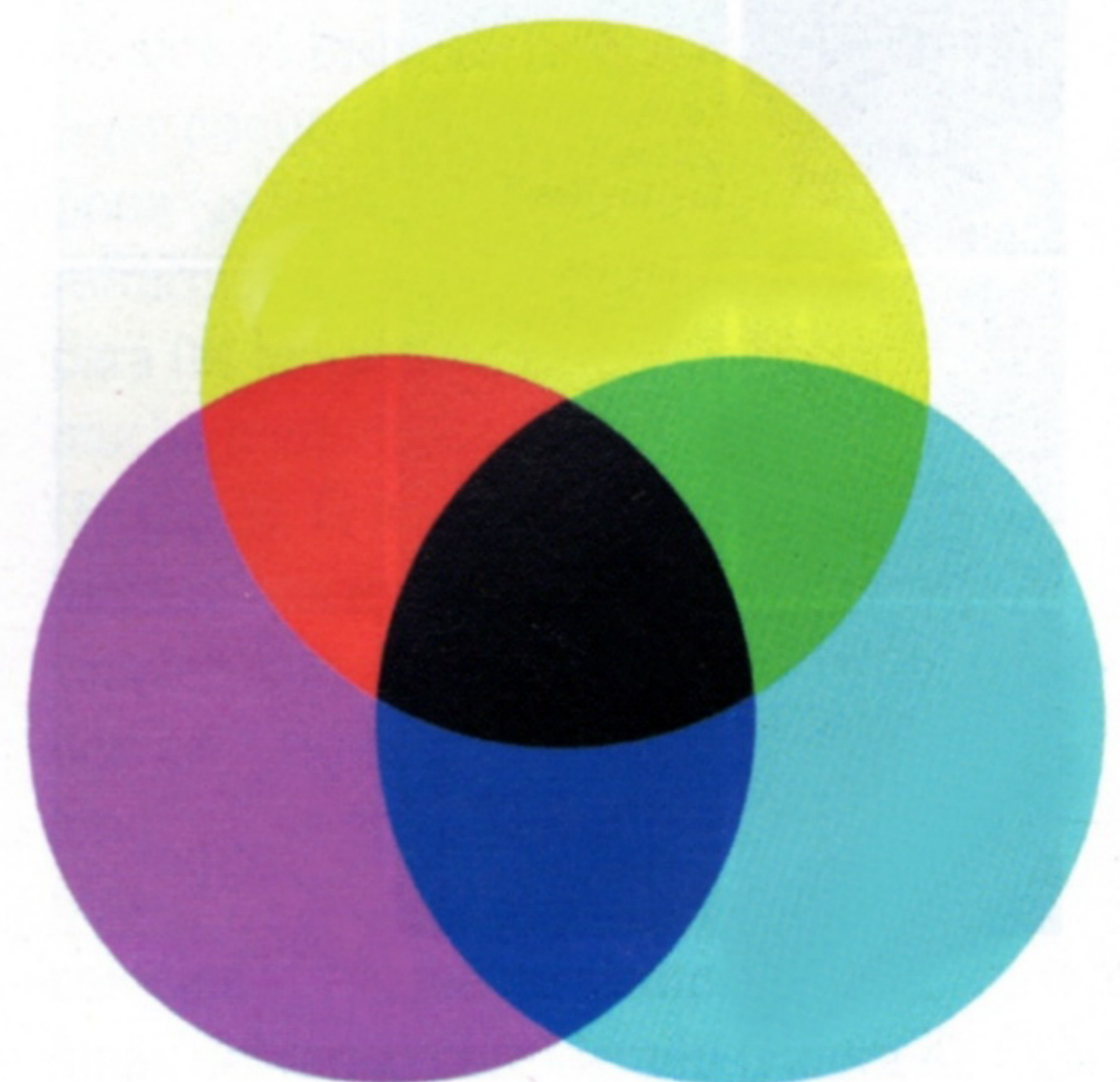


Figura 16. Mezcla sustractiva de colores objeto

Un ser humano de buena visión *percibe* en este abanico que abandona el prisma diversos “colores”, en el rango que justamente por eso denominamos “visible”. Allí se destacan tres monocromáticos que conocemos como “colores primarios” (*primarios luz*), por razones que se analizarán en la Segunda Parte del trabajo: Azul, en el rango de 420-480nm, con un máximo de perceptibilidad correspondiente a  $\lambda_{\text{máx}} = \text{DWL} = 444 \text{ nm}$ ; Verde (rango 500-565 nm,  $\lambda_{\text{máx}} = \text{DWL} = 526 \text{ nm}$ ) y Rojo (rango 600-770 nm,  $\text{DWL} = 645 \text{ nm}$ ). También percibe claramente dos zonas de transición o mezcla de estos colores: el Cian (o celeste), mezcla de los rangos contiguos Azul y Verde ( $\lambda_{\text{máx}} \approx 495 \text{ nm}$ ) y el Amarillo, mezcla del Verde y el Rojo ( $\lambda_{\text{máx}} \approx 585 \text{ nm}$ ). Los datos de la bibliografía varían sorprendentemente en este tópico, por lo que se han presentado los definidos por el Standard colorimétrico aceptado internacionalmente (Mark et al, 1983; Borch, 1984).

No hay percepción humana alguna arriba de los 700 nm (IR) y tampoco por debajo de los 420 nm. Tradicionalmente se conoce al rango 390-420 nm como “Violeta” (y consecuentemente al rango por debajo de este como UV), pero como también se explicará en la Segunda Parte, la perceptibilidad humana al “Violeta” es prácticamente nula, motivo por el cual no es considerado un “color”, tanto en la teoría como en los Standard del color y la colorimetría. De igual manera, la perceptibilidad en el rango 700-770 es tan baja que la zona denominada “visible” se ha fijado nominalmente entre los 400 y 700 nm.

Si la luz solar que se hace pasar por el prisma está “filtrada”, o se utiliza una fuente luminosa artificial, el resultado de la descomposición dependerá del espectro de emisión de la fuente considerada.

### 2.1.2. Mezcla aditiva de Colores Luz.

Partiendo de luz solar y mediante el uso de monocromadores, se pueden aislar los “colores primarios” Azul, Verde y Rojo por separado. Estos monocromadores pueden generarse con prismas y pantallas; o bien “filtrando” la luz solar (filtros de absorción); también utilizando grillas de difracción. En otro experimento usual, los tres haces monocromáticos se superponen (mezclan o suman) – de a pares, sobre una pantalla. El resultado, que

puede representarse como en la Figura 5, muestra las variantes básicas conocida como *mezcla aditiva de colores luz*. Podemos constatar que la suma de luz Azul y Verde, así como la de Verde y Rojo recrean respectivamente el Cian y el Amarillo que se observa en el experimento del prisma. La novedad es la mezcla de Azul y Rojo, que genera en el cerebro humano un nuevo color, denominado “Magenta”. Dado que el Azul y el Rojo están en extremos opuestos del “visible”, no hay ninguna posibilidad de una zona de transición (mezcla) entre ambos rangos: el Magenta no existe en el espectro electromagnético y por lo tanto no posee un rango de  $\lambda$ , ni un  $\lambda_{\text{máx}}$  o DWL. Sólo es posible generar un haz de luz Magenta por adición de luz Azul y Rojo. El Magenta no es parte de la Física, pero para el ser humano es una realidad más, tangible, medible y utilizable, sin ningún conflicto con el “mundo físico”. Se verá más sobre este tópico en siguientes Secciones y la Segunda Parte. Se recomienda ver algunas de las páginas Web citadas a continuación, donde se explica y se utiliza en forma interactiva, las mezclas aditivas (eChalk, 2010; LUT, 2010). En teoría, el mismo experimento se puede realizar mezclando la luz dispersa (difusa) de fuentes láser que emiten en el Azul, el Verde y el Rojo, aunque no pueden os recomendar trabajo conocido alguno.

Debe notarse que en la Figura 5, en todos los casos, la intensidad de los colores primarios sobre la pantalla es la misma. Diversos tonos se generan cuando se combina un primario de alta intensidad con otro de mucha menor intensidad. Por ejemplo, un Rojo intenso y un Verde débil no generan Amarillo sino algún tono de Naranja; igualmente, la superposición de un Azul intenso y un Rojo débil se percibe como “púrpura” (purple, en el inglés), un tono del magenta que vulgarmente se denomina “violeta” en el idioma castellano, ¡para mayor confusión de los no iniciados! (Figura 6) (Borch, 1984; Tappi, 2003). Nuevamente en Figura 5, notar que la superposición de los tres primarios incidiendo en la pantalla con igual intensidad recrea la luz solar, un gris acromático que acostumbramos llamar “blanco” cuando la intensidad es alta. Son también acromáticos los colores resultantes de la mezcla aditiva – en proporciones adecuadas, del

Magenta y Verde, Cian y Rojo, o cualquier otro par de “colores complementarios” (ver Sección 3.2 y el Glosario), ya que en tal situación es imposible la percepción (visión) de los primarios o sus mezclas

### 2.1.3. Luminosidad

La experiencia sensorial muestra que los seres humanos podemos percibir el mundo que nos rodea incluso si este se vuelve “acromático”, esto es donde no hay ningún atisbo de “cromaticidad” o dicho de otra manera, exento de Azul, Verde y Rojo y sus combinaciones, como en una ceguera cromática total. La percepción resultante es similar a la obtenida cuando observamos una fotografía o película en tonos de grises (vulgarmente llamadas “en blanco y negro”) (Figura 7).

Otra experiencia, algo más compleja de comprender y representar - al menos en este punto, pero que cualquiera puede vivir personalmente, consiste en comparar un ambiente bien iluminado y rico en cromaticidad a plena luz del mediodía y luego en la penumbra del crepúsculo. En este último caso, la percepción cromática es pobre o nula. Sin embargo, si se observa detenidamente, luego de un período del orden del minuto pueden identificarse casi sin problemas la mayoría de los objetos y volúmenes presentes. Se dice que durante ese período “parte de la visión se adaptó” a la escasa luz, para poder percibir la diferencia de luminosidad entre los distintos objetos o los detalles de un mismo objeto. Más allá de la visión, los cambios de *luminosidad* se originan por variaciones de la intensidad luminosa incidente en las “pantallas” u objetos, pero también por los niveles de *reflectancia* de los mismos, como veremos en la Sección 3.

En la Figura 8a, la mezcla aditiva de colores primarios, en dos intensidades de luz (2 niveles de luminosidad). En la Figura 8b, un gris acromático en tres niveles relativos de luminosidad (el “blanco” es 100). Puede no resultar evidente, pero tanto “blanco” como “negro” son únicamente los dos extremos acromáticos del gris (Mark et al, 1983). De otra manera, un azul clarísimo puede lucir “blanco”, pero sigue siendo un tono de azul.

### 2.2 Una aproximación a la definición de Color

Como se ha visto anteriormente (Figura 8), para definir un color no es suficiente

con precisar su cromaticidad (rango de  $\lambda$  o  $\lambda_{\text{máx}}$ ), se debe conocer también cuál es la luminosidad de la pantalla. En la Figura 9 se han representado tres diferentes niveles de luminosidad (creciente de arriba hacia abajo) para el Azul, el Verde y el Amarillo. Esto es, percibimos tres diferentes colores para cada grupo cromático, nueve colores en total. Se puede concluir por lo tanto que “un color está perfectamente definido cuando se establece su cromaticidad y su luminosidad, independientemente del tipo de fuente luminosa”. Como hemos visto, para determinar la cromaticidad de un color, se necesitan dos parámetros (rango y  $\lambda_{\text{máx}}$  o DWL) (Mark et al, 1983; Borch, 1984), con lo que en definitiva se requieren tres parámetros para definir un color.

### 3. El Color de los Objetos

Se define como “objeto” todos aquellos materiales que irradian fuera del “visible”. Esta definición es la adecuada, ya que hasta una simple roca o una pared pueden estar emitiendo calor en el IR. Esto comprende también a muchos de los seres vivos, mientras que otros poseen “luz propia” (emiten en el visible).

El color de los objetos depende totalmente de la luz, y de los conceptos sobre la misma revisados en la Sección 2. Pero la materia tiene propiedades físicas particulares, generadas por la interacción de la misma con la luz. Cuando un haz de luz incide sobre la superficie (interfase) de un objeto, inmediatamente se desdobra en dos: una componente *especular* que “rebota” con un ángulo idéntico al de incidencia y una segunda componente que se *interna en el objeto*, de acuerdo al índice de refracción. Ver la Figura 10 y también revisar la Figura 3.

Desde el punto de vista del color y la colorimetría, la componente especular no reviste importancia y no figura en las ecuaciones del color. Sólo puede verse desde una única posición y nada nos dice sobre el objeto, excepto sobre el “brillo” (*gloss*, en inglés), una propiedad muy relacionada con el estado de la superficie. Por el contrario, es de la mayor relevancia lo que ocurre con la luz que se interna en el objeto, los cambios que sufre en contacto con el material y finalmente en qué estado “escapa” del mismo.

#### 3.1. Dispersión de la Luz

Una de las propiedades claves de los materiales es su capacidad de dispersión de la luz (*light scattering*, en el inglés). En general, los materiales muy homogéneos (vidrios, cristales) tienen poca capacidad de dispersión y consecuentemente, son “transparentes”. Esto significa que el grueso de la luz que ingresó al material escapa del mismo sin mayores cambios, en aproximadamente la misma dirección y sentido de la luz incidente. Se dice de ellos que presentan elevada *transmitancia* (revisar la Figura 3).

Por otro lado, los materiales heterogéneos poseen una gran área o superficie interna (superficie de interfases internas) son “opacos” (tiza, cemento, papel, polímeros porosos, etc.). En las interfases de estos materiales la luz sufre múltiples y repetidos desdoblamientos, con fuertes cambios de dirección (donde importan el ángulo de incidencia - aleatorio, y los índices de refracción) antes de abandonar el objeto (Figura 11). Como consecuencia, la luz emerge del objeto desde múltiples puntos, sin dirección preferencial, a lo ancho de una relativamente amplia área de irrupción, aunque la fracción mayoritaria siempre lo hace en el sentido opuesto al de la luz incidente original (Figura 10/11). Se dice de la misma que es “reflexión difusa”, “reflectancia difusa” o simplemente “luz difusa” (Borch, 1984; Tappi, 2003). Una propiedad de la luz difusa –tanto la reflejada como la transmitida, es que presenta la misma intensidad (luminosidad) en toda la superficie de irrupción. En la Figura 12 se muestra el diagrama goniométrico típico de una muestra, que podría provenir de cualquier pared alisada y pintada, una mesa de madera o un mueble con enchapado plástico. Sobreimpuesta a la medición uniforme de la reflexión difusa, sobresale la lectura correspondiente a la reflexión especular.

En un extremo de los materiales opacos están los metales no porosos. Debido a su estructura altamente organizada, con muy poca superficie de interfase, presentan una baja reflectancia difusa. También una transmitancia prácticamente nula, incluso en espesores mínimos. Se acostumbra a denominar a los materiales opacos como “traslúcidos”, pero estrictamente todos, incluso los transparentes

– con excepción de los metales, deberían llamarse así: con el espesor adecuado, todos presentan reflectancia y transmitancia no nulas.

La dispersión depende fuertemente del índice de refracción de los constituyentes del material. Dicho de otra manera, de la relación de los índices en las interfases internas. A igual superficie de interfase pero con mayores relaciones entre índices, mayor dispersión, mayor opacidad, mayor reflectancia difusa y por tanto mayor luminosidad.

En la Figura 13a se ve una muestra de vidrio común. La imagen se adquirió con un típico scanner de escritorio, con fondo negro. En la Figura 13b, adquirida exactamente igual que la anterior, hay una muestra del mismo vidrio sometido a esmerilado mecánico. La gran diferencia en luminosidad se debe a la reflectancia difusa generada por las interfases (áreas) creadas por el esmerilado en el interior (poco profundo) de la muestra. Es obvio que las interfases son de vidrio/aire (relación entre índices, aproximadamente 1,5-1,6). Si reemplazamos el aire por agua o aceite (mojando el vidrio), la relación se cae a 0,94-1,0 y de la misma manera la reflectancia (luminosidad). Un efecto muy similar se logra introduciendo – durante la fabricación del vidrio, pequeñas burbujas de aire o gas (TGP, 2010). Una forma común de incrementar la opacidad (reflectancia) de los papeles livianos “tipo Biblia” consiste en incorporar al papel partículas micrométricas de dióxido de titanio (rutilo, índice refracción 2,7), con el doble efecto de crear áreas de interfase e incrementar la relación entre los índices. Prácticas similares, con diferentes pigmentos, se utilizan en numerosas industrias, incluidas papel, vidrio, pintura y plásticos. Dado que los azules (longitudes de onda cortas) se dispersan mucho más que los verdes y rojos (longitudes de onda más largas), un objeto dispersor puede cambiar su espectro de reflectancia difusa (una curva de reflectancia para diferentes longitudes de onda) (ver Figura 15), si la fuente de luz incidente modifica su espectro de emisión de un rojo dominante a un azul dominante (Chiao et al, 2000).

Como veremos en la siguiente Sección, no siempre el cambio espectral del

iluminante genera mayor reflectancia o cambios cromáticos en la reflexión difusa. Dado que en lo que va del trabajo no consideraremos otra reflectancia o transmitancia que la difusa, a partir de este punto nos referiremos a la luz difusa simplemente como reflectancia o transmitancia, según corresponda.

### 3.2. Absorción de Luz

En la naturaleza abundan las moléculas o grupos atómicos que tienen la propiedad de absorber luz de una específica longitud de onda y emitir en otra longitud. En la ciencia del Color, son de la mayor importancia aquellos grupos o compuestos que absorben luz visible y emiten la energía acumulada en el IR. Los químicos los nombran como "cromóforos" y pueden ser de origen inorgánico u orgánico. Este fenómeno de absorción/emisión que "filtra" o hace "desaparecer" luz visible transformándola en IR "no visible" se conoce como *absorción de luz*. Subrayamos – para evitar confusión, que el término "absorción" se utiliza también en otras disciplinas científicas, para describir fenómenos no necesariamente idénticos.

Hay cromóforos que absorben todo el espectro, del azul al verde, sin afectar el rojo (cromóforos rojos). O por el contrario, absorben las longitudes más altas del visible (cromóforos azules). De la misma manera, hay cromóforos verdes, como la clorofila, que absorben sólo los extremos del visible. Otros cromóforos son más específicos y únicamente absorben los azules. Dado que no afectan los verdes y rojos, el color emitido será una mezcla de los mismos, un amarillo. Son abundantes también los que únicamente absorben verdes o rojo.

La Figura 15 es similar a la Figura 11, con una importante diferencia: el material es abundante en cromóforos amarillos, esto es, en centros de absorción de luz azul (representados como puntos negros). Si la luz incidente contiene todo el espectro visible, la reflectancia puede disminuir tanto como un 30-50% respecto a la de la Figura 11 (Borch, 1984; Tappi, 2003). La disminución puede ser aún mucho mayor si el verde o el rojo no son parte de la luz incidente. Lógicamente, la reflectancia puede llegar a ser nula (objeto oscuro) si no existe ninguno de estos últimos colores en el haz incidente.

La Figura 14 es el espectro de reflectancia de una muestra cubierta con pintura gris oscura ("negro") y otra con un amarillo luminoso. Nos adelantamos a la Segunda Parte para decir que la luminosidad de la muestra no es el promedio de la reflectancia a diferentes  $\lambda$ . Invitamos a observar espectros de reflectancia en las páginas Web citadas (Brainar, 2004; Chiao et al, 2000; LUT, 2010). Se recomienda también la siguiente página, donde se puede observar los cambios en los colores resultantes para un mismo objeto y numerosos iluminantes Standard (Niemitalo, 2009).

En la Figura 16 se combinan los colores (tintas) utilizadas por todos los talleres que imprimen sobre papeles blancos, esto es Cian, Magenta y Amarillo. El conjunto resultante, similar al de la Figura 5, se conoce como *mezcla sustractiva de colores objeto*. Notar que la mezcla del Amarillo (absorbe el Azul) y el Magenta (absorbe el Verde) regenera el Rojo. Dado que el Cian absorbe el Rojo, la mezcla de tintas Amarilla y Cian regeneran el Verde. De la misma manera, la mezcla de tintas Cian y Magenta genera Azul. Notar también que la mezcla de las tres tintas genera un gris acromático oscuro ("*negro*"), ya que cada una de ellas absorbe un color y la mezcla la totalidad del visible. Las imprentas también utilizan tinta acromática muy oscura, que les garantiza una muy baja reflectancia en todo el visible (*negro*), así como total independencia de los primarios (tintas CMYK, del inglés; K es el símbolo usual para *black*).

Los colores objeto Amarillo, Magenta y Cian son "colores primarios objeto" pero también "complementarios" de los colores luz Azul, Verde y Rojo, respectivamente, ya que los primeros "sustraen" o absorben a los segundos.

## 4. Comentarios Finales a la Primera Parte

4.1 El análisis sobre el experimento del prisma y la mezcla de luz nos ha llevado a definir el conjunto que llamamos *mezcla aditiva de colores luz*, donde se destacan los *colores primarios luz*, Azul, Verde y Rojo. También sus mezclas, el Amarillo, Cian y Magenta.

4.2 Estudiadas las interacciones entre luz y materia, los conceptos de disper-

sión y absorción luminosa nos permiten comprender el color de los objetos y el por qué de los colores resultantes de la mezcla de los mismos. Resalta en este aspecto el conjunto formado por la mezcla de los "*primarios objeto*", complementarios de los "*primarios luz*".

4.3 De los puntos 3.1 y 3.2, resulta evidente la relación directa entre dispersión y luminosidad (reflectancia), así como la relación inversa entre absorción y dispersión de luz. Las dos relaciones están muy lejos de ser lineales, pero están bien definidas y es muy sencillo de comprobarlas con las herramientas adecuadas. Dicho de otra manera, a igual capacidad de dispersión, mayor absorción reduce la reflectancia. A valores constantes de absorción, si se incrementa la dispersión, también la reflectancia y la luminosidad.

4.4 Otro fenómeno que genera colores – mucho menos usual, es el de las redes de difracción. Dado que estas redes se construyen sobre patrones muy ordenados y simétricos, sólo pueden observarse en algunos seres vivos que los han desarrollado. Recientemente, esta misma revista publicó un trabajo sobre el plumaje de las aves que recomendamos leer (Berli et al, 2008).

4.5 Todos los conceptos físicos revisados corroboran la afirmación hecha en la introducción, sobre un mundo de múltiple cromaticidad y luminosidades cambiantes (no gris), independientemente de la percepción del hombre.

4.6 Finalmente, sólo la comprensión de los aspectos básicos de la visión humana (desarrollados en la Segunda Parte), nos permitirá comprender cabalmente algunos conceptos aquí revisados sobre los colores.

## 5. Referencias

- Berli, C., De la Peña, M. (2008) "El Color de las Aves", *Ecociencia y Naturaleza* Nro. 8, p. 18-23. ISSN 185-0620. <http://www.cienciay-naturaleza.com.ar/contenido.htm>
- Borch, J. (1984) "Optical and Appearance Properties". *Handbook of Physical and Mechanical Testing of Paper and Paperboard*. Volume 2, Richard E. Mark Editor. ISBN 0-8247-7052-8.
- Brainar, D. (2004) "Bear and Fruit Gray images" (Hyperspectral image under different illuminants) <http://color.psych.upenn.edu/hyperspec->

tral/bearfruitgray/bearfruitgray.html  
<http://color.psych.upenn.edu/hyperspectral/bearfruitgray/illums.html>  
 Chiao, Ch., Cronin, T., Osorio, D. (2000) "Color signals in natural scenes: characteristics of reflectance spectra and effects of natural illuminants", J. Optical Society of America, V. 17, Nro. 2, p. 218-224.  
<http://www.opticsinfobase.org/view-media.cfm?uri=josaa-17-2-218&seq=0>  
 Díez, G., Eguíluz, L., Mañana, M., Lavandero, J., Ortiz, A. (2002) "Revisión Crítica del Umbral de Perceptibilidad del Flicker". XII Reunión de Grupos de Investigación en Ingeniería Eléctrica. Córdoba (España). <http://www.diee.unican.es/pdf/flicker-Cordoba.pdf>  
 eChalk (2010) "Colour Addition" (Interactive java applet)  
<http://www.echalk.co.uk/Science/physics/colourAddition/colourAddition.htm>  
 LUT (2010) "Demonstration of colors" (Interactive java applet), Lappeenranta University of Technology, Finland.  
<http://www.it.lut.fi/ip/research/color/demonstration/demonstration.html>  
 Mark, R., Murukami, K. (1983) "Handbook of Physical and Mechanical Testing of Paper and Paperboard. Volume 1, Section Three. Colorimetry". Marcel Dekker Inc., New York. ISBN 0-8247-1871-2  
 Niemitalo, O. (2009) "Dye Mixer v1.1" (Interactive java applet)  
<http://yehar.com/blog/?p=307>  
 TAPPI Standard Methods (2003) "Tappi T 1213 sp-03. Optical measurements terminology"  
[Http://www.tappi.org/Standards-TIPs/Individual-online-access-to-the-Standards-and-TIPs.aspx](http://www.tappi.org/Standards-TIPs/Individual-online-access-to-the-Standards-and-TIPs.aspx)  
 TGP (2010) "Technical Glass Products, Aquaglass" (Bubbles inside glass).  
<http://www.tgpamerica.com/decorative/aquaglass/>  
 Sunscreen Pty Ltd. (2010) "Spectral Selective Facts"  
<http://www.windowtinting.com.au/prestige-spectral-facts.asp>

## Glosario

**Absorción luminosa.** Substracción luminosa. El proceso por el cual la luz visible es convertida en otro tipo de energía, como el calor, cuando incide o pasa a través de un material. Dicha energía es luego emitida en una longitud de onda fuera del visible, usualmente el Infra-Rojo.  
**Acromático.** Se dice del color carente

de cromaticidad, o de aquel en el cual es imposible percibir cromaticidad alguna.

**Colores complementarios.** Un par de colores tal que, mezclados aditivamente en la proporción adecuada generan el correspondiente color acromático (gris). Ejemplo, Amarillo-Azul, Magenta-Verde.

**Colores Primarios Luz.** Son colores primarios los tres colores de referencia con cuya mezcla aditiva todos los otros colores pueden ser generados. Concretamente el Rojo, Verde y Azul.

**Colores Primarios Objeto.** Los complementarios de los primarios luz (Magenta, Cian, Amarillo).

**Dispersión de luz.** (light scattering). Proceso por el cual un flujo incidente es distribuido por reflexión o transmisión en un amplio rango de ángulos (sin dirección preferencial), generando luz difusa. La dispersión se considera un caso particular (aleatorio) de la difracción (ver Redes de difracción).

**Espectro de Emisión.** Flujo luminoso emitido por una fuente en un determinado rango de longitudes de onda.

**Espectro.** Espectral. Nombre o adjetivo utilizado para indicar una propiedad dependiente de la longitud de onda.

**Goniómetro.** Instrumento utilizado para obtener la distribución geométrica de un flujo radiante reflejado o transmitido.

**Gris.** Nombre que usualmente se da a un acromático de luminosidad intermedia entre los extremos "blanco" y "negro". Blanco y negro en realidad son los extremos de luminosidad del gris.

**Interfase.** Superficie interna o externa a un objeto, límite entre materiales de diferentes propiedades ópticas (ver Materiales Heterogéneos).

**Longitud de Onda Dominante (DWL).** En un haz monocromático, es la longitud de onda a la cual el ser humano presenta un máximo de perceptibilidad. No coincide necesariamente con la longitud de onda correspondiente al máximo de la onda.

**Luminosidad.** La escala de percepción (usualmente porcentual) que mide la relación entre el acromático de un color y los acromáticos "blanco" y "negro". La percepción del acromático se realiza con un instrumento (o en condiciones tales) que no se perciben el Rojo, Verde y Azul o sus combinaciones.

**Luz difusa** (Luz dispersa).

Ver Dispersión de luz.

**Luz monocromática.** O haz monocromático. Se dice de una onda simple, con una definida longitud de onda o lo que

es lo mismo, una definida frecuencia.

**Materiales Heterogéneos.** Son los formados por materiales con diferentes propiedades luminosas: diferentes índices de refracción, con o sin absorción espectral (diferente absorción según la longitud de onda).

**Materiales Traslucidos.** Aquellos que presentan tanto luz dispersa transmitida como reflejada. Parcialmente transparentes y parcialmente opacos.

**nm (nano metros).** Unidad usual de la longitud de onda, mil millones de veces menor que el metro.

**Perceptibilidad luminosa.** (Sensibilidad luminosa) Medida, en unidades relativas, del umbral de percepción de la luz por el ser humano. Por ejemplo, la percepción de no-luz durante el parpadeo. Se utiliza también en otras propiedades sensoriales.

**Redes (grillas) de difracción.** Está formada por unidades (grillas, aberturas y hendiduras) que forman un patrón ordenado, a veces simétrico, que divide (difracta) la luz incidente en varias direcciones, siempre ordenadas, en función de la longitud de onda. Se usa generalmente para obtener luz monocromática.

**Reflectancia difusa.** Luz Difusa. Medida relativa del flujo luminoso que emerge en la superficie incidente luego se sufre dispersión (ver Dispersión de Luz).

**Reflectancia especular.** Medida relativa del flujo luminoso reflejado sin difusión por la superficie, con el mismo ángulo del flujo incidente. "Como en un espejo" ideal.

**Refracción de la luz.** Cambio de dirección del flujo radiante cuando pasa de un medio con un índice de refracción a otro con un índice diferente.

**Scanner.** Digitalizador. Instrumento electrónico que permite convertir un objeto o su superficie en una imagen digital, capaz de ser almacenada y editada en una computadora.

**Transmitancia difusa.** Luz Difusa. Medida relativa del flujo luminoso que emerge en la superficie opuesta al haz incidente, luego se sufre dispersión (ver Dispersión de Luz).

(Fuente: Mark et al, 1983; Tappi 2003)