

PERCEPCIÓN Y ALCANCES ESTÉTICOS DEL COLOR EN EL ARTE

NOTA PRELIMINAR

El presente repartido tiene como objetivo la ampliación conceptual de la temática referida al Color y sus alcances hacia diversas áreas de conocimiento implicadas en su estudio. La estructura de trabajo resulta de utilidad para abordar las diversas interpretaciones que el mismo tuvo y tiene, pues nos permite aproximar sus dimensiones operativas en el ámbito artístico.

A su vez corresponde precisar que el presente material forma parte de una investigación de mayor alcance realizada en nuestra tesis de concurso en el año 1997 (donde obtuvimos el cargo de Profesor Agregado del 1er. Período, en efectividad). Por esta razón pueden aparecer ciertas discontinuidades que entendemos no afectan su comprensión.

Norberto Baliño- 2008

PARTE 1

1: Alcances conceptuales del tema COLOR: Es bien conocido que respecto a este tema se formularon a lo largo de la historia de nuestra cultura -particularmente desde el ámbito artístico- distintas interpretaciones muchas veces con el rótulo de "teoría del color". Sin embargo y sin entrar a considerar -por el momento- los contenidos de algunas de ellas, consideramos necesario ordenar las áreas de análisis y los perfiles de estudio con el propósito de centrar su complejidad. Es decir, al abordar esta temática, parece imprescindible aproximar los territorios de análisis que el mismo implica y desde ellos, intentar definiciones que operen como factibles hipótesis de trabajo.

2: Diversidad disciplinaria: Básicamente el color es luz y su estudio corresponde a la **física**; el color es "sustancia constitutiva" (pigmento-combinación-vehículo-soporte) y su análisis puede incluirse en el campo de la **química**; otras veces son píxeles¹ u algoritmos² y su estudio es **matemático**; el color también es estímulo sensible y un costado importante de estudio le corresponde a lo **fisiológico**; pero el color es fundamentalmente **percepción** y entra en acción el sujeto que percibe, sus procesos, sus componentes psicológicas y culturales.

Al incursionar por las posibilidades del color surge como asunto primario, el estudio del "proceso visual" que permite constatar su "presencia", es decir, de que manera y donde opera fisiológicamente el estímulo para su captación. Por esto, el estudio de las diversas fases del procesamiento en la visualización del color y las distintas variaciones - ya sea a partir de los contrastes o por la alteración molecular- estructural u ondulatoria de acuerdo a procesos físicos y/o químicos- resultan de suma utilidad para poder desarrollar el tema.

Por otra parte y desde nuestro interés pedagógico hacia la formación artística, al ser el color un asunto que involucra lo perceptivo creemos importante comenzar a analizar las instancias que intervienen en él.

3: El ojo: Casi todos los seres vivos son sensibles a la luz, la fotosíntesis en los vegetales es un ejemplo contundente en este aspecto; los animales utilizan variados mecanismos de sobrevivencia en que la luz interviene (captación de presencias físicas, sombras, etc.). Esto no implica que cada ser vivo tenga un ojo que permita el inicio de un proceso de configuración de imágenes posteriormente interpretables. Para ello son imprescindibles determinadas complejidades "instrumentales" en el "sensor" (ojo) y un cerebro cuyas capacidades permitan interpretar, comparar, inferir y elaborar juicios y toma de decisiones a partir del proceso de la información que ingresa al sistema visual (estímulo lumínico originado por el suceso físico).

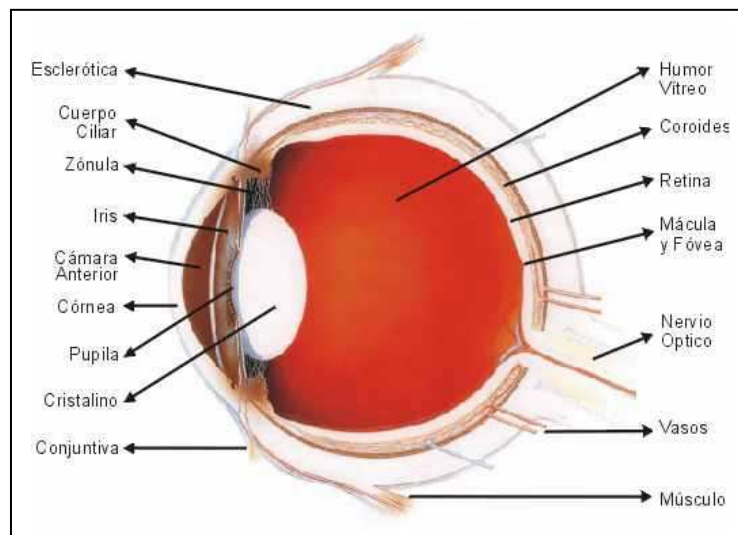
Ahora bien, la respuesta a la luz se encuentra en animales unicelulares, pero eso no implica que estemos en presencia de percepciones, pues solamente en los seres superiores, desde el punto de vista evolutivo, es que encontramos células especializadas en funciones de captación (fotorreceptores) y que transforman la información luminosa en impulsos eléctricos (información / input) que permitan al cerebro interpretar y responder en consecuencia (información / output).

El ojo humano como mecanismo de ingreso del estímulo lumínico es típico de los vertebrados, si bien se

¹ PIXEL: Vocablo que resulta de la contracción picture Element y de la abreviación PIX de la palabra picture. Es la Unidad básica de una imagen informática, construida por la menor superficie homogénea. Se puede comparar -aunque no es analógico- con el punto de un fotograbado

² ALGORITMO: Conjunto de reglas operativas que, mediante la descomposición de un problema en una serie infinita de secuencias, permiten obtener una solución.

sabe que no es el más desarrollado, categoría que si le corresponde al cerebro humano. A pesar de esto, cada parte del nuestro ojo es una estructura de gran especialización con funciones simultáneas que permiten la conformación de la efímera y discontinua imagen en la retina. Más allá de la descripción pormenorizada de la topología del ojo humano, que por otra parte se puede visualizar simplemente en un diagrama esquemático del mismo, sí resulta particularmente importante la determinación topológica y tipológica de las componentes celulares de la retina y sus características funcionales, pues permitirá establecer claramente los procesos de la visión más allá de la geometría que implica la suposición de analogías funcionales con instrumentos físicos que registran imágenes (por ejemplo una cámara fotográfica o de video). Es allí donde radica la naturaleza conceptual hacia la percepción visual y particularmente la definición de color como hecho físico constituido en percepción. Esto no siempre ha sido considerado así y sólo el avance científico ha logrado establecer definiciones en tal sentido sobre "bases firmes".



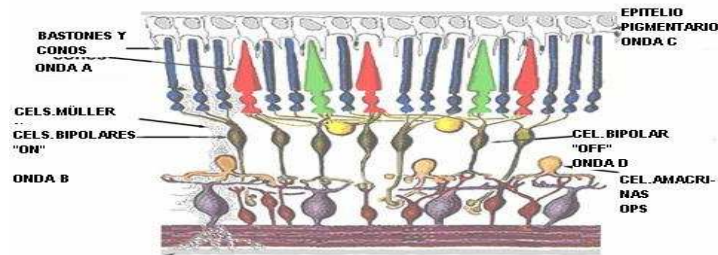
Por ejemplo: la retina para los griegos no constituía la primera etapa de la visión, pues creían que estaba destinada a la función de nutrición del humor vítreo, siendo el lugar de inicio de la sensación - según Galeno- el cristalino.

Johanes Kepler (1571-1630) fue el primero que describió aproximadamente la función de la retina definiéndola como "pantalla receptora" de las imágenes que proceden de la lente (cristalino), lo que posteriormente fue comprobado empíricamente por Scheiner (1625). Los foto-receptores fueron descubiertos por Treviranus (1835) mediante la utilización del microscopio, aunque sus observaciones no fueron muy precisas. No obstante, los avances en los estudios anatómicos, propició la idea de que la visión "no empieza y termina" con el estímulo y la recepción de la imagen en la "pantalla".

Max Schultze en 1866 describió la presencia de dos tipos de receptores de luz en la retina: los **conos** y los **bastones**. A partir de esto Otto von Kris en 1896 elabora la "**teoría de la duplicidad**" referida a las propiedades funcionales y formales de ambos componentes de la retina, así como su distribución y cuantificación de ellas. Es a partir de estos descubrimientos que comienza a perfilarse sobre bases firmes, la noción de que la visión de las cosas deja de estar depositada en el ojo para concebirse como un proceso complejo en el que interviene el cerebro.

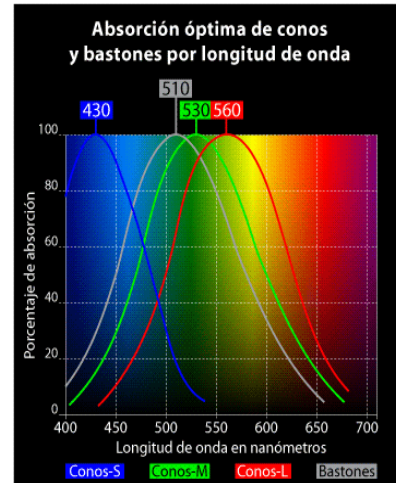
4: La retina: La retina es una capa de células localizadas en la superficie interior del globo ocular y contiene los receptores sensibles a la luz que inician el proceso de elaboración perceptiva. El primer aspecto y más curioso es que los receptores están ocultos en el interior de la retina y no en la superficie que recibe la luz. Esto es extraño porque la luz que los estimula debe atravesar antes numerosas capas (transparentes) de células. Los conos y los bastones contienen diferentes pigmentos fotosensibles que les permite especializarse en tareas diferentes. Los bastones tienen una sustancia llamada rodopsina y que resultan unas 500 veces más sensibles a la luz que los conos. Por otra parte, los conos contienen pigmentos que hacen posible la visión del color.: De modo que en realidad los bastones y conos son dos sistemas distintos sensibles a la luz y "empaquetados" juntos en un único "recinto": el ojo.

Hay unos 120 millones de bastones en cada ojo humano, y están situados por toda la retina excepto la fovea y el punto ciego (lugar donde se "conecta" el nervio óptico). El número de conos es de unos 6 millones en cada ojo, y están concentrados en la región central de la retina. Efectivamente, en la fovea, una región algo hundida en el centro de la retina, solo se encuentran conos, teniéndose la densidad mas alta: alrededor de 150.000 conos por milímetro cuadrado. La región más central de la fovea, donde los conos son más pequeños y están más herméticamente empaquetados, es muy pequeña -sólo tiene aproximadamente 1/10.000 milímetros de ancho, y cubre, por tanto un ángulo visual (abarcabilidad de la visión) de no más de un tercio de grado.

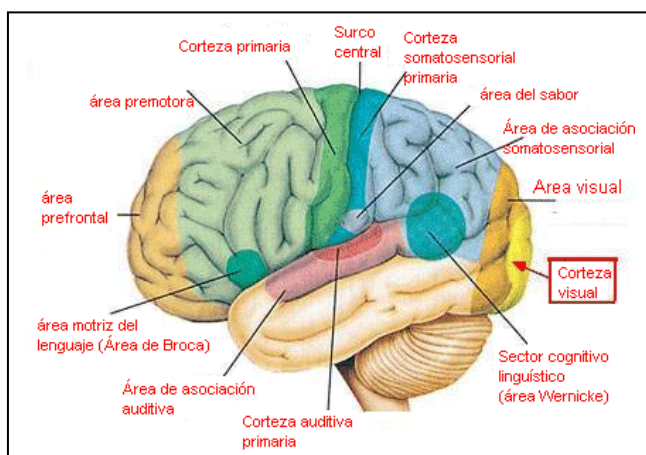


Por otra parte, producto de un análisis anatómico-fisiológico más específico, actualmente está aceptado el concepto de que la retina desde el punto de vista constitutivo - celular, resulta una especie de prolongación del cerebro y que se encarga de recibir el estímulo lumínico para comenzar a procesar en las células fotorreceptoras la reacción química de acuerdo a la intensidad del mismo. Esa respuesta química que se desencadena a partir del ingreso de luz en el ojo es a su vez reprocesada por otro tipo de células especializadas que permiten su conversión en impulsos eléctricos que operan a nivel cerebral. A su vez, la función de los fotorreceptores es específica según la cantidad de luz:

- -visión diurna (fotópica) para los conos que básicamente reciben el color.
 - -visión nocturna (escotópica) para los bastones operan con bajo nivel de intensidad lumínica (umbral de luz).
- Ambos (conos y bastones) poseen pigmentos visuales diferentes (rodopsina y iodopsina) y tipos de conexiones distintas con las neuronas.



Transcribimos según lo dicho: "El territorio central de la retina, ocupado casi totalmente por conos, mide aproximadamente 100 micras de longitud o un tercio de grado de arco; contiene aproximadamente cincuenta conos en cada fila. Esta superficie no es exactamente circular, sino elíptica de eje mayor horizontal, y contiene en total 2000 conos. El tamaño de una de las 2000 unidades de recepción y conducción es de 24 segundos como término medio, pero incluso en esta diminuta zona varía el tamaño de las unidades y las más centrales miden escasamente 20 segundos o aún menos: es probable que esas pequeñísimas unidades funcionales no sean más de una o dos docenas. En el tamaño de las unidades se incluye el tabique que separa entre sí dos conos contiguos...El pigmento de la retina se blanquea por la acción de la luz; este proceso de blanqueamiento estimula a los nervios y pone en marcha un mecanismo fotoquímico de recuperación del pigmento. Este ciclo químico de la retina se conoce hoy bastante bien. La zona de la retina en la que el pigmento está blanqueado es menos sensible que las zonas contiguas y da lugar a la formación de las posimágenes. Por ejemplo, si el ojo se adaptó a una luz brillante mirando fijamente una lamparita de luz, o un flash fotográfico si luego miramos un fondo blanco se ve flotar una sombra oscura de las mismas características que la luz causante de la adaptación; a este fenómeno se le llama posimagen negativa, pero si se mira un fondo oscuro se ve una forma brillante y se le llama posimagen positiva. La imagen negativa se produce por la menor sensibilidad de la parte estimulada de la retina por el blanqueamiento del fotopigmento". (La retina, R. Polyak, 1969, Ed. Debate, Madrid).



5: Las zonas visuales del cerebro:

Como hemos dicho, es generalizada la noción de que el sistema nervioso responsable de la visión comienza en las retinas pues sus células son típicamente cerebrales y sus receptores están especializados en discriminar la luz. La estructura de interconexión es característica, pues a su simetría ordenadas en dos mitades cuya parte exterior terminan en el mismo lado de la región posterior del cerebro y las fibras de las mitades internas (nasales) se entrecruzan detrás de los ojos, en el **quiasma óptico** y llegan a los lados opuestos de la parte posterior del cerebro (fig. 5). A esa región se le llama **área estriada** y sus células se alinean en filas.

El cerebro a su vez, está dividido en dos hemisferios que son en realidad dos cerebros completos, unidos por un grueso haz de fibras, el **cuerpo caloso**, y por otro más pequeño, el **quiasma óptico**. Las vías ópticas atraviesan una estación de retransmisión en cada hemisferio, el **cuerpo geniculado externo**.

Resumiendo:

La visión resulta ser un proceso complejo en el que siempre intervienen actividades neuronales, por lo que resulta más exacto hablar de proceso visual.

El estímulo que interviene en la visión del color es procesado por células retinianas que operan como receptores sensibles a la luz y que son anatómica, constitutiva y operativamente distintas (conos y bastones).

El proceso en ambas es químico y en el tránsito hacia el nivel cerebral intervienen otro tipo de células (complejas e hipercomplejas) que lo decodifican en impulsos eléctricos (información de entrada – input).

Por su constitución y fisiología, la retina puede considerarse como una prolongación del cerebro.

PARTE 2

1: El color: El concepto de color no ha sido un problema fácil de resolver. Ni para el arte, ni para el ámbito de la ciencia. Cuando se habla de él, generalmente se le acompaña de términos que tienden a sesgar una posible aproximación. Por ejemplo, si se dice: *"el color, es la "sensación producida en el observador por un estímulo en su retina"*, la definición se basa en el estímulo, lo que implica radicarla en el **sujeto - estimulado**; pero si se dice: *"tal cosa es de color rojo"*, la definición se ubica en el **objeto**, y sirve para determinar una característica del mismo y que permiten identificarlo como tal.

De manera que para poder comenzar a discernir sobre el tema nos parece útil apelar a la física con el fin de estudiar sus componentes de manera de centrar el tema de acuerdo a nuestros fines. Así, podemos convenir que: *"El color se compone de aquellas características de la luz distintas de las de espacio y tiempo; siendo la luz aquel aspecto de energía radiante que el hombre percibe a través de las sensaciones visuales que se producen por el estímulo de la retina"* (Comité de Colorimetría de la Optical Society).

La luz es una forma de *energía radiante*, o sea de energía que se propaga por medio de ondas electromagnéticas³. Dicha forma de propagación ondulatoria caracterizan a la luz según: la naturaleza del **flujo lumínico**⁴ (su origen); su **longitud de onda**⁵; la **frecuencia**⁶ y la pureza del mismo. A su vez, estas constituyen las variables utilizadas por la Colorimetría para poder determinar matemáticamente a la definición de color que se corresponde con la longitud de onda; o la **saturación**⁷ que hace lo propio con la pureza. De manera que existen dos duplas para la definición de color: color-longitud de onda y saturación-pureza. De allí que cuando hablamos de un color (amarillo por ejemplo) estamos haciendo referencia a una determinada longitud de onda que resulta predominante en su captación (es amarillo y no rojo), pero además interviene lo cuantitativo, por ejemplo es el amarillo más intenso posible, que viene definido por su saturación en tanto está originado por una fuente cuya pureza así lo determina (es amarillo único, o sea no interviene otro color).

2: Causas del color: La determinación de las causas de la existencia de un hecho que le llamamos color, es una cuestión interesante. Existen autores que manejan hasta catorce causas distintas y que en general no obedecen a categorías unitarias sino que integran distintos aspectos que se relacionan. A pesar de esto, todas ellas tienen una predefinición común: **el origen de los colores está dado por la interacción de las ondas luminosas con los electrones**.

El estudio de esta interacción ha sido algo que preocupó permanentemente a la física del S. XX, y eso se evidencia en que para considerar de las causas del color resulta necesario relacionarse con los análisis teóricos que la física como disciplina elaboró, ya que *"de hecho el color es uno de los fenómenos físicos que manifiestan visiblemente la estructura de la materia"*.(Kurt Nassau -"El origen del color en la materia" -Scientific American-1975)

Bajo la hipótesis de que el fenómeno color no es otra cosa que el resultado que proporciona la *"medida que lleva a cabo el ojo y la interpretación que el cerebro hace de esa longitud de onda, su frecuencia o la*

³ ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS: es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio

⁴ es la medida de la potencia luminosa percibida. Difiere del *flujo radiante*, la medida de la potencia total emitida, en que está ajustada para reflejar la sensibilidad del ojo humano a diferentes longitudes de onda.

⁵ LONGITUD DE ONDA: Es la distancia entre la cresta de una onda y la cresta de la onda sucesiva.

Matemáticamente se expresa: $L = v T$ siendo v la velocidad de propagación de la onda y T el período de tiempo transcurrido

⁶ FRECUENCIA: Es el número de ondas que pasan por un punto en un segundo. Matemáticamente se expresa según lo siguiente: $f = 1/T$ siendo f la frecuencia y T el período de tiempo transcurrido.

⁷ SATURACIÓN: este concepto representa la pureza o intensidad de un color particular y puede también ser definido por la cantidad de gris que contiene: mientras más gris o más neutro es un color, menos brillante o menos "saturado" es.

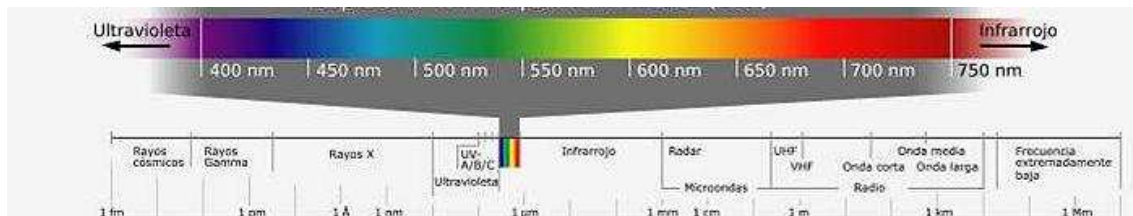
energía dominante de una onda luminosa", Kurt Nassau -"El origen del color en la materia" (1975)- desarrolla un profundo estudio de las distintas variables que permiten determinar las causas del color. Así encontramos, desde la física cuántica, nociones como la de **escalera de energía** que permite el estudio de las interacciones de la radiación electromagnética con la materia; o el **principio de las transiciones atómicas** que explica el carácter de la transición de energía a través de la estructura atómica y su topología; culminando con el comportamiento de la luz en referencia a la **óptica geométrica** y a las **redes de difracción** de la materia.

El estudio de estas variables permiten determinar que: *"Todos estos mecanismos, cuya lista es naturalmente incompleta, se pueden clasificar en cinco grandes categorías,...excitaciones de átomos libres y de iones, así como vibraciones moleculares; efectos del campo cristalino; transiciones entre estados orbitales moleculares; transiciones de las bandas de energía de los sólidos y efectos susceptibles de ser interpretados en el marco de la física. El hecho de que tal diversidad de fenómenos se circunscriba en una banda de longitudes de onda cuya anchura no alcanza siquiera una octava nos puede parecer fruto de una extraordinaria coincidencia, pero la observación de que esta banda tan estrecha coincide precisamente con aquella para la cual el ojo humano es sensible todavía resulta más extraordinario.*

En realidad, puede que no se trate de una mera coincidencia. En esta región del espectro electromagnético suceden tantas cosas interesantes precisamente porque éstas son las longitudes de onda para las que las interacciones de la luz con los electrones empieza a ser importante. Las ondas de energía más baja estimulan principalmente los movimientos de los átomos y de las moléculas y, por tanto, se ponen de manifiesto en forma de calor. Las radiaciones de energía mayor pueden ionizar a los átomos y alterar permanentemente la estructura de las moléculas, de forma que sus efectos pueden parecer ser fundamentalmente destructivos. Tan sólo en la estrecha zona de transición comprendida entre ambos extremos la energía de la luz está bien sintonizada con la estructura electrónica de la materia". (Kurt Nassau -"El origen del color en la materia" -Scientific American-1975).

Dicha zona es la que se conoce como **espectro visible** y que pasamos a definir:

3: El espectro visible: Los estudios históricos acerca del proceso de investigación de la visión del color nos ubican conceptualmente acerca de su naturaleza. El primer estudio sistemático de la visión de los colores, se inicia con la investigación del problema de la naturaleza constitutiva de la luz y corresponde a Newton (The Opticks, 1704), que logró probar experimentalmente que la "luz blanca" está integrada por todos los colores del espectro y que a su vez aquella se puede descomponer y volver a componer mediante la utilización de instrumentos ópticos (prisma). Basándose en la comprobación de Newton, la "teoría ondulatoria de la



luz" explica matemáticamente que cada color corresponde a una longitud de onda determinada, correspondiéndole a la espectrofotometría (1) como disciplina, el mensurar y determinar el origen de fenómeno.

Por ejemplo: las longitudes de onda comprendidas entre 400nm y 450 nm aparecen como **violeta**; entre 450nm y 500nm **azul**; de 500nm a 570nm **verde**; de 570nm y 590nm **amarillo**; entre 590nm y 620nm **naranja**; y finalmente entre 620nm y 700nm **rojo**. La unidad de medida es la milimicra o milimicrones -también llamado *nanómetros*- el micrón es la milésima parte de milímetro, por tanto el milimicrón es la milésima parte del micrón.

A este entorno (entre 400nm y 70nm) se le denomina **espectro visible** ya que en él, están contenidos todos los colores percibibles por el hombre.

4: Luz, cuantos y visión: *"La luz viaja en ondas pero, de acuerdo con la teoría cuántica, podemos considerarla como compuesta por pequeñas unidades de energía a las que se denomina cuantos. El cuanto (de energía) entra en el globo ocular atravesando la córnea, pasa a través de las "lentes" y, posteriormente, alcanza la sustancia gelatinosa que llena el globo ocular (humor vítreo). Al llegar a la retina, situada en el fondo del ojo, el cuanto pasa a través de sus transparentes neuronas y entra finalmente en un receptor visual (como se sabe los receptores están orientados en sentido contrario a la dirección de la luz de forma que están en contacto con una capa de tejido denominada epitelio pigmentado que los abastece de sangre y las enzimas precisas para su funcionamiento. En el interior del receptor el cuanto alcanza a una molécula de pigmento visual, lo que hace que ésta cambie de forma y que se activen una serie de procesos cuyo resultado final es la generación de una descarga eléctrica".* (La gravedad cuántica. American Scientific, Bryce S. DeWitt, 1984).

Antes de seguir, conviene definir en que consiste la naturaleza cuántica de la luz. En la actualidad está aceptado que la luz se comporta como onda y como partícula, correspondiéndole a la física cuántica sintetizar esas características. Entonces considerando a la luz como una agrupación de energía, es posible considerar agrupaciones de esa energía a la que se le llama cuantos. Los cuantos asocian las características de las partículas y las ondas. Así definida la luz de baja longitud de onda tiene más ondas en cada agrupación que la luz de mayor longitud de onda. Es decir, *"la energía de un cuanto simple es una función de la frecuencia, o sea que $E=hf$, donde E es la energía (medida en ergios/seg), h es una constante (constante de Planck) y f es la frecuencia de la radiación"*. (La gravedad cuántica. American Scientific, Bryce S. DeWitt, 1984).

Ahora bien, qué cantidad de cuantos se requieren para activar el pigmento situado en el interior de los receptores? Selig Hecht, Simon Shaler y Maurice Pirenne (1942) contestaron esta pregunta realizando un experimento psicofísico en el que determinaron el umbral absoluto de detección de una luz.

Los autores utilizaron una fuente de luz de muy precisa calibración, y ello les permitió establecer que el observador podía detectar un destello de luz de sólo 100 cuantos. De estos 100 cuantos sólo aproximadamente la mitad alcanza la retina. La otra mitad fueron difractados por la córnea, o reflejados o absorbidos por las lentes o el humor vítreo. De los 50 cuantos de luz que alcanzaron la retina sólo unos siete fueron absorbidos por las moléculas del pigmento visual. Por tanto, la activación de sólo siete pigmentos visuales fue capaz de producir la percepción de una luz.

El destello utilizado se extendió sobre el área ocupada por unos 500 receptores. Por ello, aunque fueron siete los pigmentos visuales que absorbieron cuantos, es altamente improbable que dos o más de ellos estuviesen localizados en un mismo receptor. Considerémoslo de la siguiente manera: si se lanzasen desde un helicóptero siete pelotas de ping pong sobre un conjunto de 500 pequeños cilindros, ¿qué probabilidad habría de que cayesen dos o más pelotas en un mismo cilindro? La respuesta es: muy pequeña. Es altamente improbable que en el experimento de Hecht dos de las moléculas de pigmento visual que absorbieron cuantos correspondiesen a un mismo receptor. La conclusión a la que llegamos es la de la activación de siete moléculas de pigmento debida a la absorción de la luz que se produjo en siete receptores diferentes permitió la detección del destello utilizado. Por tanto, la activación producida por el cambio de forma de un pigmento visual en un receptor bastó para lograr su activación, y la activación conjunta de siete receptores fue suficiente para que se pudiese ver la luz. (La gravedad cuántica. American Scientific, Bryce S. DeWitt, 1984).

5: Teoría tricromática: Ante la pregunta de cómo la lenta actividad del sistema nervioso puede discernir las resoluciones extraordinariamente rápidas de las ondas lumínicas, Thomas Young (1771-1829) esbozó su teoría (luego reelabora por H. von Helmholtz -1852-) que aun hoy sigue siendo aceptada y que básicamente dice: *"Es casi imposible suponer que cada punto sensible de la retina contiene un número infinito de partículas capaces de vibrar en perfecto unísono con las diferentes ondulaciones posibles y por ello es preciso admitir la existencia de un número limitado para los principales colores, rojo, amarillo y azul..."*

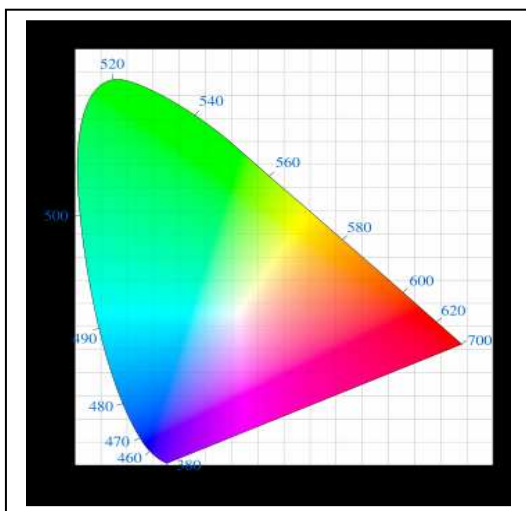
Esta elaboración teórica de Young fue valorada posteriormente por Clark Maxwell diciendo: *"Parece casi innecesario decir que el color es una sensación, pero fue Young quien al admitir honradamente esa verdad elemental estableció la primera teoría coherente del color. En cuanto sabemos T. Young fue el primero que partiendo del hecho bien conocido de la existencia de tres colores pensó en explicar ese hechos no por la naturaleza de la luz, sino por la constitución del hombre"*.

La importancia entonces radica en que la teoría de Young-Helmholtz (Teoría tricromática) se constituye en una especulación basada en aspectos psico-físicos y obviamente relacionada con fases del proceso perceptivo visual. Su principal afirmación es que la percepción de cada color es el resultado de la acción conjunta de tres mecanismos receptores que poseen diferentes sensibilidades espectrales. *"Las bases psicofísicas de esta teoría nos dicen algo muy importante sobre nuestra percepción del color, dado que una combinación de tres longitudes de onda puede parecer idéntica a una luz formada por una sola longitud de onda, el sistema visual no puede apreciar la diferencia entre dos estímulos físicamente diferentes."* (Sensación y percepción, E. Goldstein, 1989)

Estas propuestas teóricas pudieron ser comprobadas experimentalmente en 1964, determinándose las curvas de los espectros de absorción de los pigmentos de los conos que son el resultado de operaciones distintas en los receptores de acuerdo a los colores visualizados, introduciendo la noción de proporcionalidad operativa en los receptores de acuerdo a las longitudes de onda que corresponde a cada color.

En resumen, esta teoría participa de la idea de que la percepción del color está determinada por la razón de actividad de tres tipos de pigmentos diferentes sensibles a estímulos lumínicos que corresponden a distintas partes del espectro y que esto es comprobado experimentalmente por la medición del espectro de absorción pigmentaria de las células retinianas.

6: Teoría de los procesos oponentes: Paralelamente Ewald Hering formula en 1878 una teoría que se basa en el estudio de la "respuesta por oposición" de los receptores retinianos, a la dupla, longitud de onda - intensidad de luz.



“El mecanismo negro (-) / blanco (+) responde positivamente a la luz blanca y negativamente a la ausencia de luz. El mecanismo rojo (+) / verde (-) responde positivamente al rojo y negativamente al verde y el azul (-) / amarillo (+) responde negativamente al azul y positivamente al amarillo. Estas respuestas positivas y negativas se deben a la ruptura e integración de una sustancia química en la retina: blanco, amarillo y rojo dan lugar a una reacción química que tiene como resultado la integración de la sustancia; negro, azul y verde dan lugar a una reacción que tiene como resultado la ruptura de la misma. El mecanismo negro/blanco está más implicado en la percepción del brillo que en la de los colores cromáticos.” (Sensación y percepción, E. Goldstein, 1989).

Aunque la teoría fue apoyada por observaciones psicofísicas, su crédito se debe a investigaciones muy posteriores ya que la noción de ruptura química sustancial partiendo de un proceso

fisiológico es una noción realmente poco concebible.

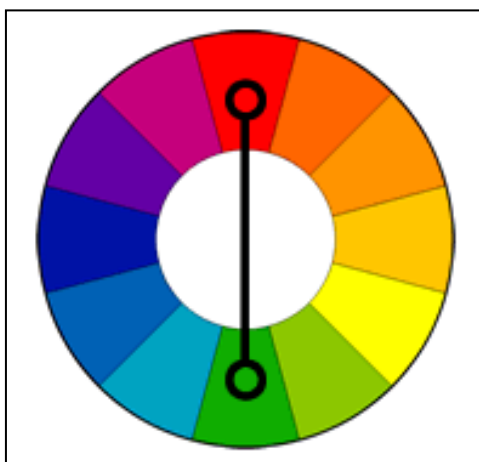
No obstante, en el año 1957, Hurtvich y Jameson, mediante experiencias psicofísicas, lograron probar sobre bases analítico-cuantitativas la teoría de los oponentes. Así se pudo mensurar la respuesta a los componentes azul, amarillo, rojo y verde en los mecanismos azul-amarillo; rojo-verde, aplicado a las distintas longitudes de onda del espectro visible.

G. Svaetichin en 1956 encontró que en el proceso visual habían dos tipos de respuestas pigmentarias que se correspondían con la mecánica postulada por la teoría de los oponentes. Este tipo de respuestas corroboró además que había un comportamiento positivo (“respuesta rápida”) a las radiaciones de un extremo del espectro y negativo (“respuesta lenta”) a las del otro.

Por otra parte, en 1960, R. DeValois también demostró que las células de núcleos geniculados laterales (NGL) -ubicadas entre la retina y el cortex visual- tienen propiedades oponentes, comprobando que ciertas células NGL respondían a las radiaciones de un extremo del espectro incrementando las descargas nerviosas y las del otro extremo inhibiendo su actividad. Esto comprueba sin lugar a dudas que los estímulos retinianos “informan” de manera diferente produciendo distinta actividad neuronal, con la consiguiente información hacia el cerebro.

De donde: estamos en presencia dos teorías que explican -en forma comprobable- la percepción visual del color, una tiene como base cuatro estímulos lumínicos (colores) básicos y la otra utiliza la clásica idea de tres estímulos básicos. “Las evidencias presentadas por ambas teorías indican que las dos son correctas...pues aunque diferentes, describen lo que está ocurriendo en distintos lugares del sistema visual. Así, la teoría tricromática explicaría como funcionan los receptores, y la de los procesos oponentes como lo hacen las células a nivel superior” (Sensación y percepción, E. Goldstein, 1989).

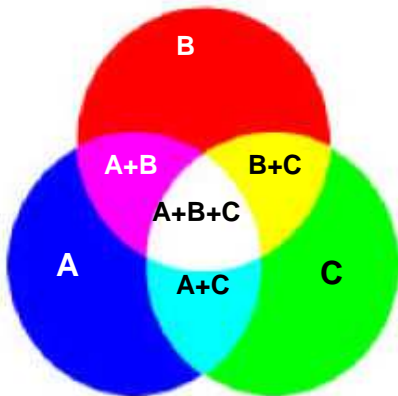
7: Formas operativas del color: Establecer modelos teóricos de la mecánica del color implica someterse a reglas físico-químico-fisiológicas que nos aclaren su uso. Para ello las definiciones conceptuales respecto a los procesos de mezclas que se dan operativamente y que intervienen en la percepción visual constituye en algo útil.



Básicamente volvemos a establecer que el color como hecho físico es luz y que con acorde a la naturaleza de los elementos que lo originan, hace que los componentes básicos varíen en la práctica. En un caso los básicos son la tríada rojo-verde-azul; en otro rojo-amarillo-azul. Ello no está determinado por su constitución molecular sino por el comportamiento de la luz de acuerdo a la fuente (absorción – emisión) lo que da lugar a dos procesos físicos: la mezcla aditiva, y la mezcla sustractiva. En el primer caso a los primarios que permiten la obtención de todos los colores del espectro se les denomina “primarios aditivos”, en el segundo “primarios sustractivos”. Estos aspectos definidos resultan particularmente importantes, pues permiten comprender conceptualmente la naturaleza del instrumento color, que se corresponde con lo establecido respecto a su percepción.

8: Mezcla aditiva: Ya vimos que el espectro visible se puede obtener mediante la descomposición de la luz blanca en su pasaje a través de un prisma. Ahora bien, se puede invertir el proceso partiendo de

los colores del espectro visible y obtener la luz blanca de origen y si observamos las bandas de frecuencia que ocupan los colores constatamos que no son todas del mismo ancho, sino que hay tres que predominan: el rojo -R (610 nm-700 nm) el verde -G (500 nm-570 nm) y azul - B (450 nm-500 nm).



Suponiendo que estas tres fuentes de luz (luz emitida RGB) proyecten tres círculos luminosos (figura) cada uno de distinto color que definen dos zonas en su intersección una de pares de secciones de círculo, otra de una tríada de secciones de círculo y por último zonas de presencia única de luz. A las regiones en donde se depositan dos componentes o más le denominaremos mezcla de colores, y al tipo de mezcla aditiva pues está dada por la superposición de las dos o tres componentes las que a su vez resultan la suma de longitudes de onda de cada componente, esto es fácilmente comprobable empíricamente con la utilización de un instrumento (espectrógrafo) que a partir de la intensidad de luz de la fuente, permite medir el flujo luminoso resultante y su correspondiente longitud de onda.

De manera que "casi todos los colores pueden medirse en función de la mezcla de tres componentes considerados básicos en este caso el sistema RGB..." y el resultado es una expresión numérica que determina una longitud de onda que corresponde a un lugar del espectro visible. Veremos más adelante que esto tiene cierta relatividad.

Antes de seguir adelante corresponde ubicar un poco más lo referido a la obtención de la gama de colores a partir de tres considerados básicos (en nuestro caso rojo R – verde G – azul B).

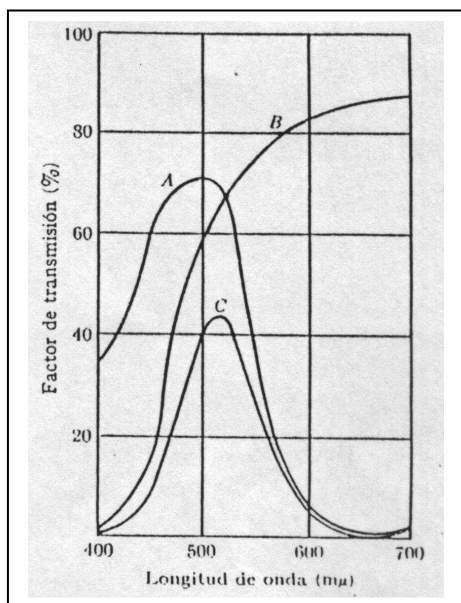
La posibilidad de que toda la gama de colores se deba a la combinación de un número menor de ellos – que denominamos "básicos"- es producto de su posibilidad de mezcla, pero además debe tenerse en cuenta la particularidad de que tal cosa es posible por la propia naturaleza del suceso visual. Es decir el ojo tiene una forma de actuar muy distinta a la de otros sentidos (el oído por ejemplo). Dos sonidos no se mezclan y se obtiene un sólo tercer sonido puro intermedio entre ellas, sino que las dos notas pueden "mezclarse" dando lugar a un acorde en el que pueden reconocerse los sonidos mezclados que le dan origen. Esta situación no se da con la luz. Desde el punto de vista perceptual esto es así porque el sistema auditivo actúa en forma analítica mientras que el sistema visual no.

Entonces ubicados en esta posibilidad de la luz, el color y el sistema visual, volvamos a la obtención de la gama completa a partir de tres básicos. Supongamos tres fuentes de luz (regulables mediante un dispositivo que permite obtener una amplia gama de colores a partir de variar las proporciones de A, B y C superpuestos) (ver figura) y una tercer fuente de luz de color X.

Primera interrogante: Cuales son los componentes de X ? Nos basta con igualar las dos proyecciones de manera que al conocer las cantidades de luz en A, B y C (cuya adición nos daría $%A + %B + %C$) nos aporta la constitución de X, que por otra parte resultan ser de porcentajes tres longitudes de onda cuyo resultado es único y coincidente con el color X buscado.

Segunda interrogante: Es posible obtener todos los colores a partir de tres "básicos" ? Observemos que, aunque puede obtenerse una amplia gama de colores X por mezcla aditiva de tres colores cualesquiera, no es posible obtener todos los colores. Esto no es consecuencia de una mala elección de los componentes, ya que eligiendo otros tres componentes nos permitiría combinarlos de manera que se obtendrían los colores faltantes en la primer mezcla, de donde habrían infinitas posibilidades de mezclas que nos permitirían acceder a la obtención de todos los colores pero esta posibilidad estaría dada por la sumatoria de distintas combinaciones de diferentes tríadas. "De manera que la creencia de que todos los colores pueden ser obtenidos por una mezcla de tres colores primarios (básicos) elegidos adecuadamente es incorrecta, a menos que el concepto de comparación (igualación) de colores se amplíe a la posibilidad de adición de otro (s) componente (s). Además no hay tres componentes únicos que indefectiblemente deben ser utilizados para la obtención de los distintos colores, pero se puede demostrar que con los componentes rojo-verde-azul (R G B) se obtiene la gama más amplia de colores sin necesidad de adicionar más componentes, por lo que pueden considerarse básicos" (Tratado de Colorimetría. Sears Zemansky – 1982)

En resumen: Mediante la mezcla aditiva de los tres básicos rojo (R), verde (G), azul (B), es posible obtener la más amplia gama de colores y ello se da por la condición aditiva de distintos porcentajes de longitudes de onda de la mezcla.

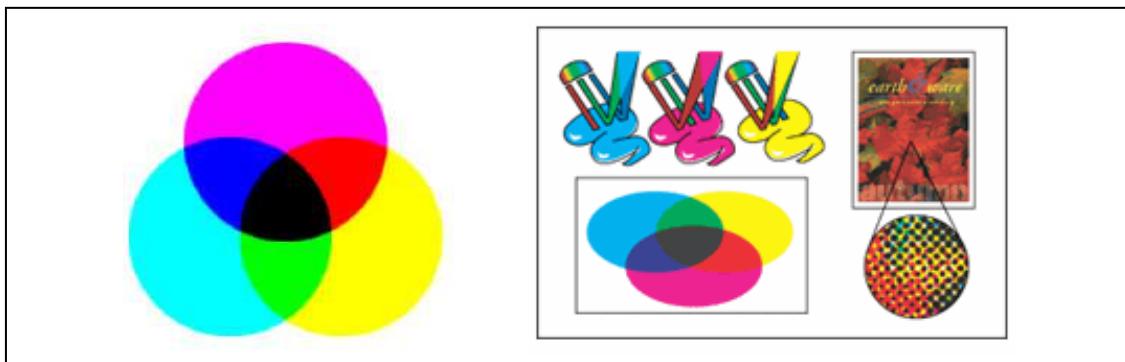


9: Mezcla sustractiva: Las curvas A y B de la figura son las curvas de transmisión de un filtro azul y un filtro amarillo, respectivamente. Supongamos que los dos filtros se ponen en contacto, y se interponen en un haz de luz blanca procedente de un foco emisor. Deseamos encontrar la luz transmitida.

Hagamos pasar primero la luz a través del filtro amarillo. Para cada longitud de onda, la curva A da la fracción de la luz incidente transmitida por el filtro azul y la curva B da la fracción de esta fracción transmitida por el filtro amarillo. Así para 500mμ, el 69% de la luz incidente es transmitido por el filtro azul, y el 58% del 69%, o sea el 40% es transmitido por el filtro amarillo. Por consiguiente, la curva que da el factor de transmisión de los filtros, longitud de onda por longitud de onda. La curva resultante es C. Evidentemente, el resultado final es el mismo si la luz pasa primero a través del filtro amarillo y después a través del azul. La curva de transmisión tiene un máximo en la porción central del espectro, y la luz transmitida será verde. Puesto que cada filtro absorbe alguna energía de la luz que incide sobre él, este método de mezcla de colores se denomina método sustractivo.

La elaboración de color a partir de sustancias como pintura o tintas, son obtenidos por un proceso sustractivo. Si consideramos una pintura blanca, la misma está constituida por pigmentos suspendidos en un vehículo líquido (agua, aceite, etc.); el mismo es generalmente incoloro y transparente al igual que los pigmentos (químicamente óxidos de plomo, cinc, o titanio).

Ahora bien, como es que se produce el resultado de que se "ve" blanco si todos los elementos "no son" blancos? La respuesta está centrada en el comportamiento de la luz que incide sobre una superficie compuesta por varias sucesiones de medios los que a su vez poseen distintos índices de refracción. Una parte de la luz se refleja en la superficie (aire-vehículo) por su diferencia de medios, el resto "penetra"



en el vehículo e incide en las zonas en que él separa a las partículas en suspensión y es reflejada hacia la superficie; otra porción de luz penetra más y se refleja en cada superficie que encuentra en su paso. Como observamos toda la luz incidente es reflejada por lo que la "pintura blanca" está reflejando todas las longitudes de onda del espectro de manera uniforme constituyéndose un resultado al que llamamos blanco y que está dado por la diferencia de índices de refracción de la luz incidente.

Si las partículas en suspensión son pigmentos de color, las mismas se comportan como filtros interpuestos en la trayectoria de la luz alterando su índice de reflexión ya que cada una de ellas absorbe las longitudes de onda que corresponden al "filtro" y refleja la longitud de onda "no presente", es decir la luz reflejada hacia afuera tiene que pasar a través de los filtros coloreados que absorben parte de la luz que incide sobre ellos. La longitud de onda resultante es la de la alteración de la distribución espectral de la luz incidente (blanca), que modificada por esta absorción emite una longitud de onda que corresponde a una luz coloreada.

Por ejemplo: supongamos que mezclamos pintura azul y amarilla. La luz blanca incidente en esa mezcla sufre el proceso de pasaje por filtros azules y amarillos antes de emerger como reflejo-resultante. El resultado es el mismo que al interponer en serie un filtro azul y otro amarillo en la trayectoria de un haz de luz blanca y cuya longitud de onda recogida sobre una pantalla blanca es verde. Es fácil comprobar que la mezcla de pinturas azul y amarilla iluminada con luz blanca la longitud de onda emergente (reflejada) es verde, producto del proceso sustractivo descripto. (absorción de longitudes de onda). Prestemos atención que en la mezcla sustractiva el resultado es la longitud de onda que corresponde al color que no está presente como "filtro".

Veamos otro ejemplo, el proceso de impresión llamado tricromía, en el que se imprime por superposición una tinta sobre otra, es necesario que las tintas sean transparentes (no-opacas). En función de esto sólo

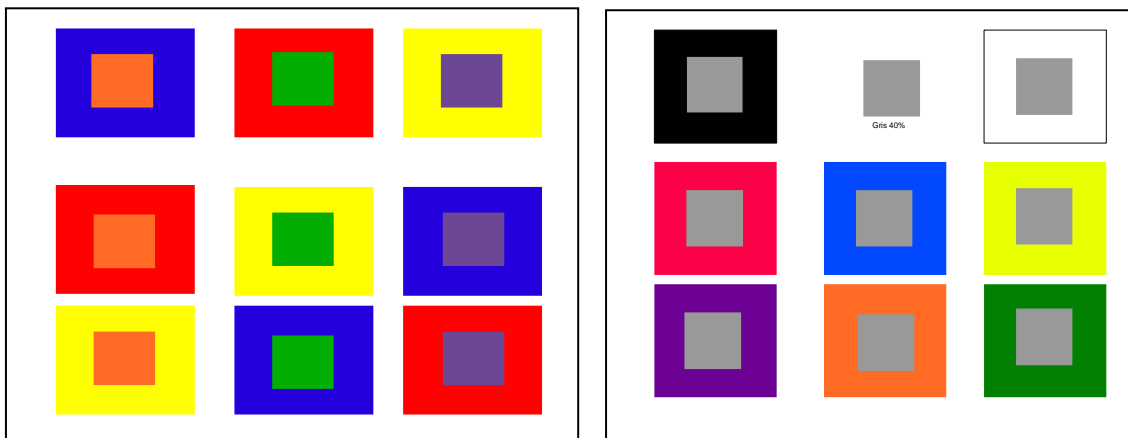
un porcentaje pequeño de luz debe ser reflejada y un mayor porcentaje debe ser emitido. Por esta razón la composición de la tinta está cuidando que los índices de refracción de las partículas en suspensión sea aproximadamente el mismo que el del vehículo. Al imprimir las tintas sobre un soporte blanco, la luz incidente pasa (hacia "abajo") a través de ellas, se refleja en el soporte y vuelve a pasar a través de las tintas (que operan como filtros en serie).

Desde esta estructura de comportamiento es fácil comprobar experimentalmente que los primarios están dados en este caso por la sustracción de longitudes de onda de la luz blanca: menos-rojo; menos-azul; y menos-verde; en el primer caso obtendremos azul; en el segundo amarillo; y en el último magenta (denominado a veces erróneamente rojo). En el caso del negro obviamente las partículas en suspensión tienen la cualidad de absorber la totalidad de las longitudes de onda.

10: Manipulación del color: Los contrastes: Estas consideraciones de orden físico, conjuntamente con las de orden psicofísico permiten abordar el tema de la manipulación del color con una base de conceptualización que constituyen elementos de importancia para internarnos en otro tipo de variaciones del color: la interrelación de campos periféricos adyacentes (contrastos), o lo que científicamente se conoce como operatividad por áreas circundantes.

Históricamente el primer estudio sistemático de esta circunstancia operativa del color fue realizada por un químico, M. Chevreul ("De la ley del contraste simultáneo de los colores....." - 1839) quien luego del estudio encomendado acerca de la variación visual de los negros (el negro) en los tapices de Gobelín, encontró que ella no se debía a la diferencia de sus componentes químicos (Chevreul era un químico), sino a la operatividad que ejercían los colores adyacentes. Obviamente este es un hecho que puede ser probado experimentalmente mediante la simple comparación visual de un patrón del mismo color en diferentes campos. De acuerdo a las características de definición en la constitución de los colores que interactúan es que se denominan los contrastes (de secundarios, de matiz; de complementarios; de primarios; de tono; etc.).

Este hecho operativo además determina definiciones de utilidad: 1.- más allá de su constitución química, el color se puede manipular mediante "instrumentos" que no son su mezcla física; 2.- un color está determinado por su constitución y por el campo circundante; 3.- el instrumento de los contrastes son operaciones cualitativamente distintas a la mezcla, tanto desde el punto de vista operacional como perceptivo.



Nuestro interés se centra en este último aspecto, es decir los efectos perceptuales que producen la variación visual del color por la relación del área circundante.

Existe un principio demostrado experimentalmente que dice: "la forma en que se conecten entre sí las neuronas en el sistema nervioso influye en nuestras percepciones", o sea que los circuitos neuronales operan de manera distinta de acuerdo a la estimulación entre otras variables.

Para comprender su funcionamiento es necesario internarse en la anatomía-fisiológica de la retina, y para ello citaremos estudios publicados recientemente: En la página 2 se esquematizan "los cinco tipos principales de células existentes en la retina. Las señales nerviosas se inician en los receptores (R) y viajan al cerebro a través de las células bipolares (B) y las células ganglionares (G), cuyas fibras nerviosas se unen para formar el nervio óptico. Los dos tipos restantes de células, las células horizontales (H) y las células amacrinas (A), no transmiten lateralmente señales a través de la retina. Las células horizontales conectan receptores con receptores, mientras que las amacrinas conectan células ganglionares y células bipolares entre sí.

Puesto que las células horizontales y amacrinas transmiten horizontalmente las señales pueden potencialmente, extender la inhibición a través de la retina". (Posefectos negativos en la percepción visual. - Scientific American. - O. Eizner y M. Corballis - 1989).

Este proceso se denomina inhibición lateral, y parecería ser el fundamento de la variación del color de acuerdo al campo. De esta forma las células estimuladas (desde el punto de vista físico la interacción de

distintas longitudes de onda) por el campo exterior enviarían una gran información inhibitoria mediante las células horizontales y amacrinas a las células estimuladas por el color central por lo que éste se ve tendencialmente variando hacia uno de sus componentes opuestos al campo periférico, de manera que, a pesar de ser el mismo color central, la información procesada está fuertemente "influenciada" por las modificaciones del campo periférico lo que simultáneamente produce la variación visual.

A su vez en determinados tipos de contrastes se produce otro tipo de alteraciones visuales en las que intervienen procesos fisiológicos de las células retinales; tal es el caso del contraste de la relación rojo-verde. En él la estimulación de los conos por parte, por ejemplo del rojo, produce una rápida decoloración del pigmento que responde al mismo disminuyendo la sensibilidad a su longitud de onda, al simultanearse la visualización del verde interior se produce un proceso similar pero las velocidades de recomposición pigmentaria son distintas (proceso demostrado por G. Wald en 1969), lo que apareja la indeterminación de las fronteras entre uno y otro (se dice que el color "vibra" o, que se produce el "efecto de borde").

Resulta importante determinar al respecto diversos aspectos referidos a la percepción del color en nuestra vida diaria. Dicho asunto está relacionado con la naturaleza real de la luz blanca en la cotidianeidad. Las investigaciones tradicionales han desestimado, generalmente por razones prácticas, la consideración de la intensidad y el color de la luz que ilumina las superficies cuyos colores son variables de análisis. Sin embargo, cuando se hace incidir "luz blanca" (definida teóricamente como la mezcla equilibrada de los colores del espectro) sobre una superficie de un color determinado, la superficie refleja, como ya hemos analizado, una longitud de onda que es el "color resultante" cuyo nombre denominamos, rojo, azul, amarillo, naranja, verde, etc. Esa longitud de onda es la dominante que corresponde a dicha superficie de color. Esta práctica de determinación exacta en el laboratorio, no coincide con lo que generalmente pasa fuera de él, pues la luz que normalmente ilumina los objetos (también la llamamos "luz natural" o "luz artificial" de acuerdo a su fuente) no es blanca, sino que corresponde a una mezcla desequilibrada de varias longitudes de onda (colores). Una superficie de color refleja algunas longitudes de onda más que otras y la dominante no es exactamente la longitud de onda correspondiente a dicha superficie; por lo que la luz resultante que nuestro ojo recibe es una mezcla de longitudes de onda que corresponden al objeto y a la fuente que lo ilumina. De allí, es importante determinar que la relativización que hicimos anteriormente de la idea de ojo como "instrumento que mide dichas longitudes de onda y la intensidad", encuentra su razón en esta causa, pues a pesar de estas consideraciones, igual podemos determinar el color del objeto como ese y no otro.

Tal situación es posible porque, "el sistema visual tiene la extraordinaria capacidad de percibir correctamente el color físico de una superficie a pesar de las amplias variaciones que se pueden producir en la mezcla de longitudes de onda de la iluminación. Este es el fenómeno de la constancia del color y que es de naturaleza psico-física", asimismo, "el sistema visual puede determinar la luminosidad de una superficie neutra a pesar de que se puedan producir amplias variaciones en la intensidad de la iluminación. Se trata del fenómeno de la constancia de la luminosidad, que es análogo al de la constancia en el color para superficies no neutras. También, el sistema visual es capaz de determinar reflectancias, pero lo hace comparando la intensidad reflejada por una determinada superficie con la reflejada en las superficies próximas. Para que ella se pueda efectuar, tiene que existir un desplazamiento continuo entre la retina estimulada y la imagen retiniana" (La visión por humanos y por máquinas. - Scientific American - Alan Gilchrist - 1984).

Esto último nos ubica en el centro mismo de la consideración de los elementos que intervienen en el proceso perceptivo del contraste del color debido a la interrelación de campos.

Franz Krauskopf de la Bell Laboratories elaboró un sistema experimental (Test de Krauskopf) que demostró que: "el ojo fluctúa permanentemente hacia adelante y atrás con una frecuencia de entre 30 y 150 ciclos por segundo, por lo que el campo visual desaparece en un intervalo de tiempo que va de uno a tres segundos si el desplazamiento relativo antes indicado se elimina estabilizando artificialmente la imagen (usando un dispositivo especial que hace que la imagen se forme siempre sobre la retina, aunque el ojo se esté moviendo de atrás a adelante).

Las fluctuaciones del ojo ponen de manifiesto que las células receptoras de la retina sólo actúan en presencia de una estimulación cambiante...", por lo que, "...si una célula receptora individual durante estas fluctuaciones está "situada" dentro de una zona homogénea, no recibe ningún cambio de estimulación, mientras que una célula situada el límite de los campos (borde), sí lo recibe...", concluyendo que "en condiciones naturales, el color que se percibe de una superficie no depende del color de la luz que de ella nos llega, sino del cambio en la luz que pueda existir en el límite de la superficie. El color percibido de una superficie no puede depender tan sólo del cambio de la luz en el borde de la superficie, porque un cambio de esta naturaleza es estrictamente relativo. El cambio de la luz en el borde de la superficie depende tanto del color del fondo como del color de la superficie.

Si el color percibido dependiese tan sólo del cambio de la luz en el límite de la superficie, debería verse la superficie de colores radicalmente distintos al ser observada sobre diferentes fondos. Por el contrario, dos superficies de colores totalmente diferentes podrían parecer el mismo. Por ejemplo, el cambio de la intensidad de luz reflejada por una superficie blanca con respecto a un fondo gris intermedio es el mismo que el que se produce entre un fondo negro y una superficie de un gris intermedio. Por supuesto que una superficie blanca y una gris intermedio no aparecerían como iguales vistas sobre estos fondos respectivos. Estos cambios en el color del fondo pueden originar los llamados efectos de contraste; pero estos efectos no son, con mucho lo suficientemente importantes como para que la superficie blanca sobre el fondo gris intermedio se asemeje a la superficie de color gris intermedio colocada en un fondo negro. Es un hecho empíricamente destacable que el color que se percibe de una superficie permanece ampliamente invariable, a pesar de que puedan producirse modificaciones en el fondo. Lo que origina variaciones es la información proveniente de los límites de las superficies". (La visión por humanos y por máquinas. - Scientific American - Franz Krauskopf - 1984).

De estas consideraciones podemos afirmar el carácter subjetivo y psicofísico de la percepción del color. Tal situación nos conduce a la consideración de fenómenos que se pueden considerar como derivación de los anteriores pero que hacen intervenir otras variables del proceso visual. Nos estamos refiriendo a los conocidos posimagen y posefecto visual.

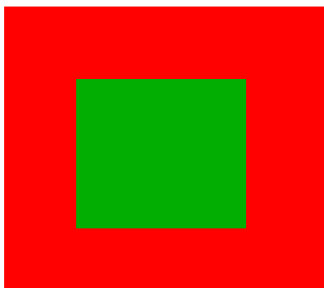
La descripción de en que consisten cada uno de los fenómenos es bastante conocida, por ejemplo si se observa fijamente una luz intensa durante un período de tiempo, notaremos que al cambiar la dirección de nuestra mirada se mantiene en el campo visual la imagen negativa (en este caso oscura) del objeto que observábamos. A este fenómeno se le llama posimagen negativa. Si hacemos lo propio con algo que se mueve constantemente a una velocidad uniforme, por ejemplo un disco dibujado con una espiral moviéndose en sentido horario y a una frecuencia de 33 revoluciones por minuto, al apartar la vista de él se nos configurará en el campovisual una imagen similar pero que se mueve en sentido antihorario. A esto se le llama posefecto negativo.

Ambos fenómenos visuales son "ilusiones visuales" y comprueba en los hechos que la mediación con la realidad a través de los sentidos son una parte de la percepción y que su estudio nos aporta elementos acerca del comportamiento funcional de los factores fisiológicos que intervienen en ella.

En el caso particular de la percepción del color, se puede comprobar fácilmente que si observamos fijamente durante un lapso de tiempo (unos 40 segundos) una superficie de color por ejemplo rojo y luego desviamos la vista hacia un plano blanco vemos una superficie aproximadamente igual en su tamaño, pero del color complementario (en nuestro caso verde), se le llama a este posimagen complementaria.

Es probable que las posimágenes (negativas y complementarias) dependan fundamentalmente de las células de la retina pues se puede comprobar que la posimagen se mueve con el desplazamiento de los ojos, cosa que no sucede con la visión de los objetos. Fácilmente se infiere que la imagen está como "impresa" en la retina por unos instantes. En cambio si se mueve voluntariamente el ojo presionando sobre el globo ocular vamos a observar que también los objetos parecen moverse mientras que la posimagen permanece fija, lo que indica un "efecto corrector del ojo" para compensar las situaciones perceptivas de localización tanto en sus movimientos reflejos (involuntarios) como voluntarios.

La explicación de estos fenómenos está dada por investigaciones experimentales relativamente recientes (1975) y que comprobaron que: " una vez que las células de la retina inclusive sus receptores son sometidos a una larga estimulación, estos alcanzan cierto grado de fatiga o lo que se conoce como adaptación. Según esto, si se mira una mancha blanca, las células que responden a la luz blanca pierden en parte su capacidad de respuesta, resultando, pues, una "impresión" de una mancha negra si se desvía la vista hacia un fondo uniforme. Las posimágenes del color se pueden explicar de forma similar.



Las neuronas situadas más allá de los receptores pueden también contribuir a la formación de posimágenes. Estas neuronas comprenden las células bipolares y las células ganglionares de la retina y posiblemente también, células del cuerpo geniculado externo; éste es una estación de relevo, situada en el cerebro, que recibe los impulsos de las células ganglionares retinianas. Entre las células ganglionares retinianas y las células del cuerpo geniculado externo se hallan células que presentan de forma típica lo que se denomina organización de proceso opuesto; ello significa que una célula aumenta su frecuencia normal de producción de impulsos en respuesta a un color, pero

disminuye su producción en respuesta al color complementario. Las células de proceso opuesto, podrían contribuir a la formación de posimágenes de dos maneras.

Supongamos que se mira un fondo verde uniforme durante un período de tiempo. Las células que ante el verde, producen impulsos a mayor frecuencia (se llaman células "para" para el verde, "contra" para el rojo) podrían llegar a fatigarse, de suerte que, si se mira seguidamente un fondo blanco uniforme, la reducida producción de impulsos se interpretaría como correspondiente al rojo. Al contrario las células "para" para el rojo, "contra" para el verde, se hallarían en estado de depresión al mirar uno un fondo verde podrían "rebotar" seguidamente para intensificar la sensación visual de color rojo". (Comparison of normalization and neural enhancement explanation of negative after-effects - Lloyd Haufman - 1975).

PARTE 3

1: Taxonomía del color: Comúnmente se tiene la noción que el ordenamiento lógico del color es la constitución de una teoría sobre el color. Ello es cierto en algún aspecto, ya que existen interpretaciones del proceso visual del color que pueden llegar corresponderse con una ordenación de ese tipo; pero como hemos venido desarrollando la cuestión del color contiene múltiples orígenes y aspectos que intervienen de manera no estratificable y cuantificable universalmente, lo que le aporta al tema esa cuota de inquietante subjetividad que tanto preocupó al mundo de la ciencia.

Es necesario un ordenamiento lógico del color? Ese ordenamiento es la correspondencia de la percepción con la cuantificación de las causas de la sensación-color? La respuesta es de muy difícil

resolución; casi imposible. Tan imposible como la elaboración de un modelo que unifique las distintas cuestiones que la ciencia física intentó explicar. Resulta obvio que existen múltiples factores que intervienen en la percepción del color, así como también son múltiples las cuantificaciones de determinación universal de un color (rojo por ejemplo). Pero: ¿cuál es la longitud de onda "del rojo" y a partir de que se mide y clasifica? O de otra forma: ¿cuáles son los "primarios" que determinan la gama completa de colores del espectro visible? Teóricamente estas posibilidades son infinitas.

Sin embargo, aparece como prácticamente necesario - ya lo establecimos al comienzo del tema- el definir un sistema convencional que permita un desempeño aproximativo al tema, lo que no implica el establecimiento de una formulación teórica objetiva de un fenómeno que como estamos observando tiene grandes componentes subjetivas.

Esta historia de la intención de ordenar el color forma parte de la preocupación del hombre por ordenar su realidad bajo parámetros lógicos-cuantitativos, lo que no implica que los diversos "modelos" sean "la teoría -única, unificadora- del color". Prefiero llamarla "modelo taxonómico del color" y como tal, es evidente que necesita, como todo modelo, determinar axiomas apriorísticos que permitan su propia lógica. Tal es el caso del acontecer histórico con respecto al tema. Desde hace siglos, investigadores, científicos y artistas se esfuerzan por relacionar y ordenar los colores de forma sistemática de acuerdo a una geometría que permita interpretar lo que ellos interpretaron; por ejemplo la esfera de colores de Otto Runge o "El arte de los colores" de J. Itten; la "Espiritualidad del color" de W. Kandinsky; los modelos cúbicos o rómbicos de Charpentier o Höffler; etc..

Puede resultar interesante rápidamente esbozar esquemáticamente su devenir histórico y características, cosa que se puede observar en el esquema adjunto al final. (página 20)

2: Los colores. El color. El "color-humanista": Desde Aristóteles a Descartes y los Ilustrados del siglo XVIII que propusieron sistemas de percepciones de la realidad, incluyeron en su especulación filosófica cuestiones relacionadas con el color: sobre su origen, su calidad, la sensación, la interpretación, el alcance de lo verdadero. Pero, "cada filósofo ve rojo cuando se habla de color..." (Goethe) y nada más certero que esta reflexión que encierra en sí toda la problemática. Todo estudio que intentó discernir donde radica su origen, y el fenómeno, se diluyó en la incertidumbre de la interpretación teórica que intentó unificar todos los aspectos.

Por esto, en lo que al análisis y percepción del color se refiere, progresivamente se han distinguido sólo algunas de las visiones que intentaron relacionar al color con las culturas que lo produjeron como parte de su idiosincrasia singular. La teorización en este sentido sólo se puede aproximar a una simplificación teórica, a la luz de un modelo que, como hemos visto, es de muy difícil anclaje inclusive en sus aspectos más convencionales y científicos.

Desde la antropología, nos sentimos tentados a establecer primarias utilidades del color derivadas de la presencia de algunos materiales de origen, el blanco de las calces, el negro de los leños quemados, el ocre de las arcillas, el rojo de las tierras oxidadas. Quien no ha oído hablar de las paletas "primitivas" que derivaron en técnicas también "primitivas", las que a su vez contenían su propia convención teórica de primarios, secundarios, etc.? Sin embargo la categorización de primitivismo se relaciona invariablemente con el modelo que cada uno adopta desde su actualidad cognitiva y perceptiva. Lo que nos lleva a pensar que los modelos interpretativos de la relación hombre-color es producto de las formas de ser que configuran la mentalidad de los grupos en sociedad, y que ello varía con las épocas y lugares. Por lo que el devenir histórico en el uso del color opera de acuerdo a variables múltiples, desde la tecnología, la intención particular de los individuos, la situación geográfica que los grupos ocupan, hasta las formas de comunicación hacia su interior y el exterior.

A pesar de esa situación, igualmente se han intentado y elaborado esquemas que tratan de ordenar el devenir histórico de la manipulación del color en el estudio de un amplio espectro de culturas humanas y que presentan la rara característica de la expansión cuantificadora a partir de primarias situaciones sensibles: la luz-blanco; la oscuridad-negro; la sangre-rojo.

"El mayor catálogo del universo de los colores antiguos ha sido el recopilado por E. Chevreul (Des couleurs et de leurs applications aux arts industriels..., 1864), que aparece como una cuidadosa enciclopedia de 1440 tonalidades cromáticas materiales, frente a la proliferación de los nuevos colorantes sintéticos (anilina, malveína, alizarina, fucsina, metileno, etc.), fruto del progreso y de los mayores negocios de la química industrial del S. XIX. Ésta ya estaba en condiciones de reproducir totalmente las cualidades tintóreas predominantes del rojo púrpura y del azul oscuro, y terminaba para siempre con el cultivo de las plantas que hasta ese momento habían producido el material para el color, tales como la granza y el glasto, que permanecieron como poco más que una curiosidad botánica, dejando en los campos de los antiguos cultivos los nombres típicos de un uso paleoindustrial.

Además de catalogar todos los colores posibles, Chevreul trabajaba sobre las sensaciones cromáticas newtonianas, estimulando sobre todo la armonía empírica de su contraposición en sus famosos circles chromatiques, frecuentemente citados como base teórica de la pintura de los impresionistas y de los divisionistas..." (Eugene Chevreul y la historia del color. - P. Rounée - 1975).

El desarrollo de la química industrial consigue una mayor justeza y multiplicidad en la producción de tintas de colores más allá de las obtenidas en forma natural-directa, lo que implicó una mayor amplitud de posibilidades en la escala y una incidencia en el gusto de la gente.

En el prolífico S. XVIII, se incursionó en el análisis de lo anterior y además en el estudio de las anomalías de la percepción del color (Dalton), o las técnicas que permiten un mejor lavado que elimina los residuos naturales de las fibras para incorporarles colorantes, es decir el blanqueo de la tela

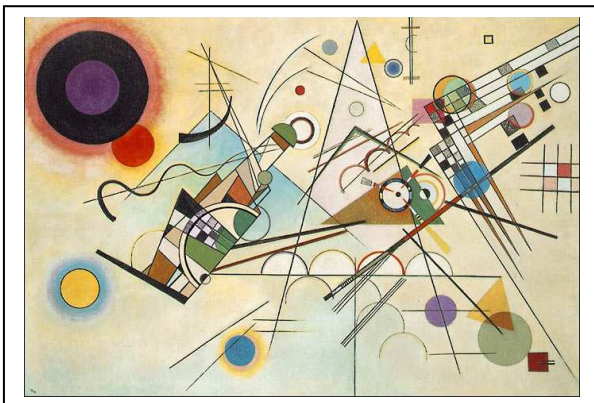
(decoloración) para teñirla luego. A su vez se adoptó la idea de "blanco-limpio" como norma higiénica y civilizadora. Así: *"los lavados y coladas con ceniza, vieja práctica de blanqueo a base de azufre y salitre conocida desde la clásicidad, transmitida en la ocupación y en la industria doméstica...tuvo la necesidad de amplios espacios sobre la hierba alta para la exposición de las telas a blanquear. Tantos como para sorprender a cualquier viajero continental que observa los prados extraordinariamente blanqueados de Manchester. Esta era todavía una industria blanqueadora que se desarrollaba fuera de la fábrica y que disponía de espacios agrícolas, rápidamente sustituidas por el ciclo industrial, primero con la coloración y luego con la Bleaching powder (1798), saludada como una victoria del espíritu por la burguesía que viste y difunde la ropa blanca, aboliendo todo "sansculottismo-revolucionario y habiendo "colonizado a todo salvaje sin camisa".* (El color. Origen, metodología y aplicación. - Harald Küppers - 1975).

Por otra parte, cuando la filosofía naturalista formula la presencia de un equilibrio intrínseco de las cosas por su condición de natural, extrae de la esencia misma de ella toda carga ornamental que magnifique el artificio desnaturalizante de lo irreal, entonces: *"...todas las tintas terrenas serían astutos engaños no conaturalizados con la verdadsimples superposiciones exteriores, de modo que la divina Naturaleza se pintaría sólo como la prostituta cuyos encantos no recubren sino un íntimo sepulcro...y pensamos que el místico cosmético, el gran principio de la luz, que produce cada uno de sus colores, permanece en sí mismo siempre blanco e incoloro.."* (El color. Origen, metodología y aplicación. - Harald Küppers - 1975).

La idea del blanco asociado a la luz (divina?), lo puro, lo esencial resulta ser esencialmente cultural. Cargada de connotaciones que nuestra cultura elabora, la no-luz es su opuesto: el negro. Y si el blanco es la presencia que reúne todos los colores, el negro es la ausencia de ellos, que más allá de la condición científica de las longitudes de onda y las mezclas, su condición de tal conducen a la presencia reguladora de una realidad que es representada como "imagen de una forma de vida". La pintura adopta la idea y el claroscuro resulta la abstracción la luz que modela los objetos de la realidad en la representación a semejanza de lo visual conformándose en una forma de manipulación del color.

Se dice que la pintura impresionista y divisionista, hasta los fauves y los futuristas, no es ajena a las experiencias de Chevreul, que existen incidencias más allá de la obra pictórica (Francastel) por la que de alguna manera se incide en las concreciones plásticas del cubismo, del suprematismo, del expresionismo, etc.. Si bien puede que incidentalmente esto se ajuste al momento histórico, no deja de ser por lo menos inquietante el hecho de pretender unificar procesos de desempeño en el quehacer artístico con aspectos que se vinculan a los elementos instrumentales para su concreción. Personalmente creo que es aventurado extraer efectos de causas que en ninguna de las dos formas son determinantes del quehacer humano. De la misma forma resulta aventurado adjudicar actitudes de comportamiento analógicamente traducibles al empleo de una herramienta expresiva.

Este tema expone que las manipulaciones son posibles, que ellas no constituyen un rito iniciático, y lo que es más importante, que cada forma de utilización del mismo está contenida conciente o inconcientemente en cuestiones de índole estética desde lo individual y que suponen ya sea por lo fáctico o por la conceptualización anterior una definición de ciertas consideraciones hacia el medio expresivo utilizado. Esto se observa a lo largo y ancho de la historia del arte.



Kandinsky por ejemplo, define consonancias entre la forma de los colores y los sonidos de la música. Adoptando la interpretación de los "colores fisiológicos" de Goethe en un intento de conjunción de las "artes del tiempo" con las "artes del espacio", deduce un concepto de armonía conjunta. Como principio de su interpretación del color, Kandinsky, a partir de la relación cálido-frío hace aparecer los roles esenciales del amarillo y del azul y sus "fuerzas" para movilizar sentimientos: lo corpóreo (amarillo), lo espiritual (azul). Lo claro y oscuro producen un segundo contraste respecto a lo cálido y frío, al igual que la resistencia al mundo, la vida, el nacimiento (blanco), la pasividad, el sufrimiento, el tránsito,

la muerte (negro). Un tercer grupo, lo constituyen el rojo y el verde como estímulos de "inmovilidad potente" e "inmovilidad impotente". El cuarto contraste está designado al anaranjado que se mueve centrífugamente y al violeta que por venir del azul se mueve centrípetamente. Pero observemos algo más, la topología del modelo está determinada por la forma circular con opuestos polares (amarillo-azul), por opuestos diametrales (rojo-verde, anaranjado-violeta) y por otro círculo concéntrico que como opuestos ecuatoriales tiene al blanco-negro.

"A través de la superación de la sensibilidad y de la materia, la antiquísima fe en los colores ganará en intensidad estática y en interioridad, así como en un tiempo la fe en Dios ganó por la negación de los simulacros. El color, liberado de aquello que es material, llevará a un camino inmanente, según nuestra voluntad..." (De lo espiritual en el arte, W. Kandinsky, 1912).

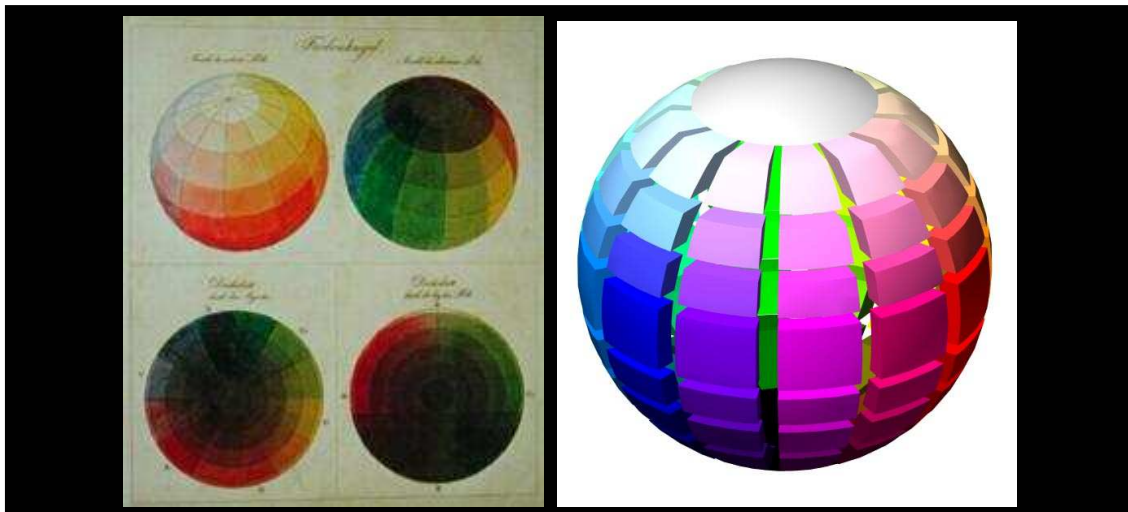
Al poco tiempo, Paul Klee (1920), elabora consideraciones acerca del color que intentan radicar la importancia del artista y erradicar la tendencia de la ciencia moderna de que todo puede explicarse a través de ella: "...lo que la mayor parte de los artistas tiene en común, la aversión del color como ciencia, se me hizo comprensible cuando hace poco tiempo leí la teoría de Ostwald. Pero quería tomarme un poco de tiempo para ver si me sería posible sacar algo de bueno. En cambio sólo logré sacar alguna curiosidad.

En primer lugar, la pedestre afirmación de que la ciencia acústica estimuló la producción musical. Por lo tanto, la alusión al paralelismo Helmholtz-Ostwald en su relación negativa con las artes sería bastante exacta. Pero no es a esto que me refería. Con frecuencia los científicos encuentran en las artes algo pueril. Pero en este caso las posiciones se invierten...

Muy extraña también la idea de que el moderado acuerdo en la música sea obra de la ciencia. Yo sólo puedo ver una ayuda práctica. Una ayuda análoga es la escala de la industria química de los colores. Por cierto lo hemos adoptado hace un tiempo, pero de ninguna manera tenemos necesidad de una teoría de los colores. Todas las infinitas mezclas no producen nunca un verde Schweinfurt, un rojo Saturno o un violeta cobalto. Entre nosotros, un amarillo oscuro no se mezcla nunca con el negro porque si no se va al verde. Por otra parte, la química de los colores descuida tranquilamente todas las mezclas transparentes (veladuras). Para no hablar de la completa ignorancia respecto a la relatividad de los colores cromáticos. sostener que la posibilidad de armonizar mediante una tonalidad de igual valor tiene que convertirse en una norma general significa renunciar a toda la riqueza psíquica". (Paul Klee - 1920).



En sus especulaciones teóricas Klee, reconoce que su punto de partida son las ideas de Goethe (Farbenlehre-Teoría de los colores), O. Runge (Farbenkugel), Delacroix y Kandinsky (Über das geistige in der Kunst), y considera que su labor principal es: " la construcción de una caja (paleta) de pinturas en la que los colores tengan un orden fundado". Esto parece contradecir la cita de más arriba, pues se puede captar una intención ordenadora según un patrón que en alguna medida sería la réplica de lo



científico. Sin embargo rápidamente su "teoría" adquiere características particulares y hasta místicas. Partiendo de los colores del arco iris como fenómeno natural, determina teóricamente que su abarcabilidad cromática contiene siete colores, que en realidad son seis pues existe uno que es la restauración de dos colores incompletos. El orden sería el siguiente: 1: Violeta-rojizo; 2: Rojo; 3: Naranja; 4: Amarillo; 5: Verde; 6: Azul; y 7: Violeta-azulado. El 1 y el 7 son "colores incompletos" y que solo logran "completarse" si integran a su finitud.

Limitante la infinitud del movimiento pendular, de lo circular, lugar donde los violetas azul y rojizo se encuentran para constituirse en uno sólo. De aquí que el círculo cromático contenga en su periferia seis colores que determinan el continuo del color en movimiento. Ese movimiento periférico de los colores se conjunta con los movimientos centrípetos siguiendo los infinitos diámetros del círculo que al igual que el modelo de Kandinsky determinan las parejas de complementarios (rojo-verde; amarillo-violeta; azul-naranja) que a su vez por el movimiento hacia el centro se atenúan hacia su gris neutro.

Estos movimientos cromáticos se equilibran puntualmente en el centro gris y se expanden triangularmente hacia la periferia circular interpenetrándose según la forma de una estrella de seis

puntas con dos de sus vértices en los triángulos isósceles que la determinan y que representan numéricamente la ubicación de los complementarios que se mueven uno hacia otro. Las jerarquías pasan por la "autenticidad" de los colores diametralmente definidos, y por la "inautenticidad" de los que "no se unen por el diámetro" (verde-naranja; verde-violeta; violeta-naranja). El resultado de mezclar estos últimos es un gris no neutro sino que tiene color.

Por otra parte Klee también sostiene que: "todos los colores surgen de su nada, en el punto culminante del color contiguo, primero calladamente y luego asciende hasta su punto culminante, para partir de él extinguirse de nuevo lentamente en su nada, en el punto culminante del color contiguo...pero hay algo más, en el círculo los colores no suenan al unísono, sino en una especie de canto a tres voces...Las voces van entrando como en un canon. En cada uno de los tres puntos principales culmina una voz, entra suavemente otra y se extingue una tercera". (Paul Klee teórico, De Donato, 1978).

Dice Koloman Mosser (Klee, arte y naturaleza, 1945): "Klee denomina, esta relación polifónica y esta armonía de los tres colores fundamentales canon de la totalidad cromática, pues considera que otra representación sistemática de las relaciones entre los colores y los movimientos de éstos es el triángulo cromático, un triángulo equilátero cuyos vértices están ocupados por los puntos culminantes del rojo, el amarillo y el azul, que sólo aparecen fugazmente. Los lados del triángulo están ocupados por los colores secundarios que son variables según tramos.....Resulta digno de atención el hecho de que Klee a pesar de las diversas relaciones que se pueden apreciar tanto en el círculo como en el triángulo cromático, considera a estos sistemas como insuficientes porque no permiten representar las relaciones claro-oscuro....así introduciendo el negro y el blanco amplía el triángulo cromático hasta conseguir primero la estrella elemental o estrella total del nivel cromático pentagonal y luego un poliedro total tridimensional."

En su curso de la Bauhaus, Johannes Itten, intentó superar los juicios subjetivos, en particular en las referencias hacia la armonía cromática en la experiencia del color. Partiendo de las posimágenes cromáticas, Itten dice que existe el momento en que nuestro ojo intenta "superarlas" y en esa experiencia, "llama al color suplementario" (por ejemplo el rojo "llama" al verde, o viceversa) para establecer un "equilibrio". El único color que no "llama" a otro, continúa diciendo, es el que se puede definir como neutro: el gris medio. De allí deduce la "tensión" que se establece en las composiciones cromáticas que para "neutralizarla" debe apelarse a la consonancia armónica de los colores.

Estos dos conceptos primarios le sirven a Itten para elaborar su teoría, que una vez más, se apoya en Goethe y Runge y cuya ordenación es también similar a las anteriores. El círculo que en su ecuador están ubicados los colores y en sus polos el blanco y el negro por consecuencia lógica en el centro está el gris. De esta topología y mediante la búsqueda de la armonía neutralizadora un color debe ser combinado con "sus antípodas de manera que la media sea siempre el gris". Para Itten, no existe aquí juicio subjetivo ya que la mecánica del color está regulada por la armonía neutralizadora que elimina las tensiones visuales. Apartarse de esta ley es contradecir la ley perceptiva que desde su punto de vista está presente en las instancias que el color interactúa (contrastes) y de los cuales tipifica siete tipos:

1: el contraste de color en sí mismo; entre colores puros no "sucios", al máximo de su "potencia cromática"; 2: el contraste clarooscuro, entre blanco y negro o entre algo saturado o no-saturado; 3: Contraste caliente-frío, el polo frío es el azul-verde y el caliente el rojo-naranja; 4: Contraste de complementarios, cuya mezcla da gris; 5: Contraste simultáneo, en la que el ojo "exige" simultáneamente la complementariedad; 6: Contraste de calidad, entre colores sucios con negro o blanco o mezclados con su complementario agrisandolos; y 7: Contraste de cantidad, por la dimensión de las formas coloreadas.

Como es evidente la construcción de la tipificación está basada en las estructuras binarias por oposición en la que cada color se define por su ubicación a lo largo de un eje (ecuatorial o polar) en el que el color circula en la "búsqueda" de sus opuestos, logrando la armonía. En la oposición caliente-frío, Itten señala que "la suma gris neutraliza el efecto térmico de los colores. El gris neutro central es no solamente el lugar de abolición de los colores considerados como tensiones, sino también como una impresión cromática que no nos da ni calor ni frío".

Hay un paradigma en la concepción de Itten, el que a pesar de buscar la objetividad encuentra a partir de mecanismos fisiológicos consecuencias que están predeterminadas por la subjetividad de la idea de armonía como base del equilibrio de lo que se entiende como tenso o roto.

El principio de las ideas, esa parece ser la consigna de la teorización del color, ideas místicas, ideas ordenadoras, ideas que permitan "salvar al hombre de la tiniebla".

El colorismo del S. XVI irrumpe en la naturaleza idealizada del hombre renacentista, por las que el agua y el aire son puros y como tal sometidos a la claridad del blanco, el fuego amarillo, la tierra multicolor que se desplaza hacia el horizonte en la atmósfera del aire azulado y tenue de Leonardo. La pintura del románico y la idealización del código religioso atravesado por el signo de lo místico y divino. La búsqueda de la liberación del color como idea de emancipación de la sensibilidad o reflejo del orden universal de las vanguardias modernas.

Las espiritualidades, los códigos, los colores puros, calientes, fríos, neutros, limpios, sucios, etc. Cosméticos de la idea, presente en la imagen concebida por el arte como producto cultural. Por otra parte, en la manipulación de realidades subjetivas y como generador de sensaciones diversas: el color resulta una variable imprecisa, escurridiza y subjetiva de quien lo usa y de quien convive con él. Tal vez esta sea la condición más apasionante de este centro de interés, y en él el estudiante irá encontrándose, razón por la cual sus connotaciones estéticas que serán estudiadas en otra instancia del primer período,

es subsidiada desde estas desmenuzadas alternancias operativas desde lo físico, fisiológico y contextual seguramente incompletas y siempre diversas.

Por último: *"Si quieres ver con brevedad la variedad de todos los colores compuestos, toma vidrios coloreados y mira a través de ellos todos los colores de la compañía que se vean luego, y de esta manera verás todos los colores de las cosas que se vean detrás de ese vidrio, todos mezclados con el color del vidrio mencionado, y verás cual es el color que con esa mezcla se mejora o se arruina. En qué forma: que dicho vidrio sea de color amarillo; digo que las especies de los objetos que pasan al ojo por tal color pueden tanto mejorar como empeorar: y ese empeoramiento en tal color del vidrio le sucederá a los azules sobre el negro y el blanco (sobre) todos los otros, y el mejoramiento le sucederá al amarillo y al verde sobre todos los otros, y así podrás recorrer con el ojo las mezclas de colores, que son infinitas, y de esta manera harás elección de colores de nueva invención de mezclas y compuestos; y lo mismo se hará con dos vidrios de diferentes colores contrapuestos al ojo, y así podría seguir para tí".* (Tratado de la pintura, Leonardo Da Vinci, 1542).

En el S. XVII, la ciencia moderna encuentra el camino y transitando por él hallará el modelo de interpretación universal. La sucesión científica de los experimentos de Newton logra resolver el fenómeno de la luz y el color. El misterio del color dejó paso al fenómeno óptico del color revestido de teoría cuya virtud será la de consolidar la ciencia newtoniana confirmando el modelo. Este se sirvió del espectáculo de los colores para legitimar un modelo proyectable más allá del fenómeno y difundirlo.

Como dice Feyerabend: *"...fue la escena más lograda del onus probandi de la nueva científicidad y de su imbatible gravedad respecto a la historia del hombre que, desde ese momento, cambiaba el enfoque sobre las leyes de gravedad y la aceleración de los cuerpos en virtud de los sorprendentes hechos del espectro de los colores..."* (Contra el método, P. Feyerabend, 1989).

Pero no fue suficiente el modelo; igualmente el "hombre-color" quiso seguir probando sus diversas maneras de relacionarse con las cosas. Por esa intención centró su atención en otro misterio: el de él mismo como ser en el mundo: *"En relación con el problema de la coloración de las sombras y de los reflejos...la ley del verde para el reflejo y del borde de la sombra que se presenta, que he descubierto en primer lugar en la ropa blanca, se extiende a todo, así como los tres colores mezclados se encuentran en todas partes. Pensaba que sólo fuera en algunos objetos.*

Sobre el mar es muy evidente. Las sombras que se presentan son evidentemente violetas y los reflejos siempre verdes, muy evidente.

Aquí se encuentra la ley de que la naturaleza actúa siempre así. Así como un plano está compuesto de pequeños planos, una onda de pequeñas ondas, así también la luz del día se modifica y se descompone sobre los objetos de la misma manera. La ley de descomposición más evidente es la que me ha impresionado primero como un principio absolutamente general sobre el brillo de los objetos. Es sobre estos objetos particulares sobre los que he podido especialmente determinar la presencia de los tres tonos de color reunidos: una coraza, un diamante, etc.. Además se encuentran cosas como las telas, la ropa blanca, ciertos efectos del paisaje y, en primer lugar, el mar, en los que este efecto es muy evidente. No he demorado en darme cuenta de que este efecto es sorprendente en la carne. Por fin he llegado a convencerme de que nada existe sin estos tres tonos. En efecto, cuando encuentro que la ropa blanca tiene la sombra violeta y el reflejo verde, ¿puedo decir que se presentan sólo estos tres tonos? ¿El anaranjado no está necesariamente, porque en el verde se encuentra el amarillo y en el violeta también?

Profundizar la ley de que en las telas brillantes, como el raso, fija la verdadera tonalidad del objeto al lado de ese brillo, en los arneses de los caballos, etc..

Observo la pared de ladrillos muy rojos que está en la pequeña calle por la que regreso. La parte iluminada por el sol es rojo-anaranjada, la sombra muy violeta, marrón rojizo, tierra de Kasel y blanco.

En función del brillo es necesario hacer la sombra no reflejada relativamente violeta, y hacer reflejos con tonos, relativamente verdosos. Veo la bandera roja que está delante de mi ventana; la sombra me aparece efectivamente violeta y opaca; la transparencia parece anaranjada, pero ¿por qué no se encuentra el verde? En primer lugar, a causa de la necesidad del rojo de tener sombras verdes, pero a causa de la presencia del anaranjado y del violeta, dos tonalidades en las cuales entran el amarillo y el azul que dan el verde.



"El verdadero tono o el menos desbaratado en la carne debe ser el que alcanza el brillo, como en las telas de seda, los caballos, etc.. Como es una cosa algo opaca, se produce el mismo efecto que he observado en los objetos iluminados por el sol, donde los contrastes son más llamativos; como lo son en las sedas, etc.. Un día descubrí que el brocado blanco siempre tiene reflejos verdes y sombra violeta.

Me he dado cuenta de que el mar se encuentra en la misma condición, con la diferencia de que el reflejo está muy modificado por la gran importancia que toma el cielo, ya que por la sombra que se presenta, el mar es evidentemente violáceo.

Es probable que yo encuentre que esta ley se aplica a todo. La sombra que se presenta sobre la tierra, de cualquier cosa es violeta; los decoradores en los monocromos no se equivocan, tierra de Kasel, etc..

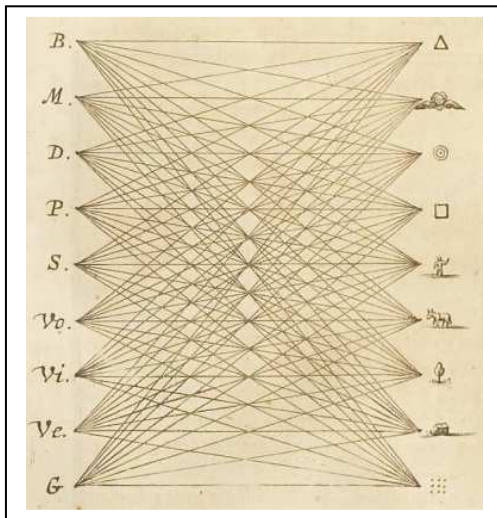
Veo desde la ventana la sombra de las personas que pasan debajo del sol sobre la arena que hay en el puerto; la arena de este terreno es violeta en sí misma, pero dorada por el sol; la sombra de estos personajes es en tal forma violeta, que el terreno se vuelve amarillo.

Habría posibilidad de decir que a cielo abierto, sobre todo en el efecto que tengo bajo los ojos, el reflejo debe ser producido por el terreno que es dorado porque está iluminado por el sol, es decir, amarillo, y por el cielo que es azul, y que estos dos colores producen necesariamente el verde? Al solo se ha visto en forma evidente que estos efectos se producen en forma más manifiesta y casi con crudeza; pero cuando desaparecen, las relaciones deben quedar las mismas. Si el terreno aparece menos dorado por la ausencia del sol, el reflejo se mostrará menos verde, en una palabra menos visto.

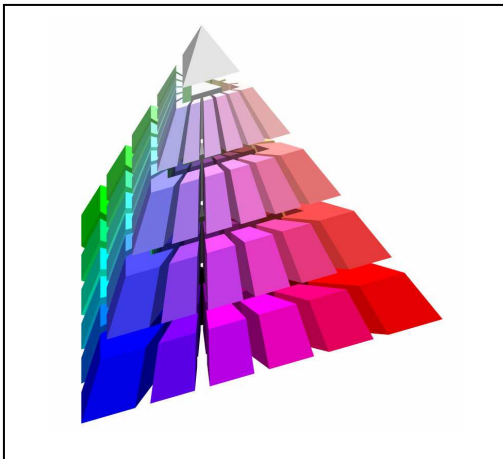
En toda mi vida siempre he hecho sábanas blancas de tonalidad muy verosímil. Un día descubro, a través de un ejemplo muy evidente, que la sombra es violeta y el reflejo verde.

Son las pruebas de las cuales un estudioso se mostraría orgulloso; pero yo he hecho algo mejor habiendo pintando cuadros con bellos colores, antes que darme cuenta de estas leyes. Sin duda un estudioso encontrará que Miguel Ángel, por no haber conocido las leyes del dibujo y que Rubens por ignorar las del color, son artistas secundarios...." (Eugene Delacroix, 1835).

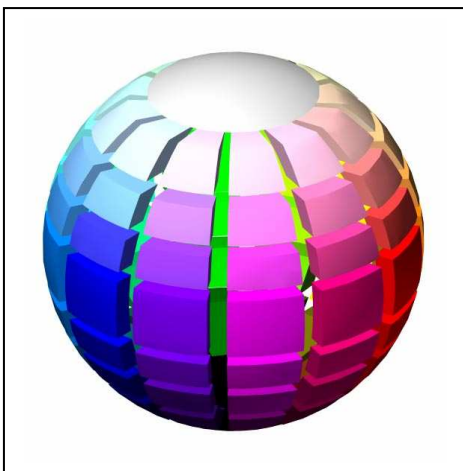
APÉNDICE 1: TOPOLOGÍA DEL COLOR



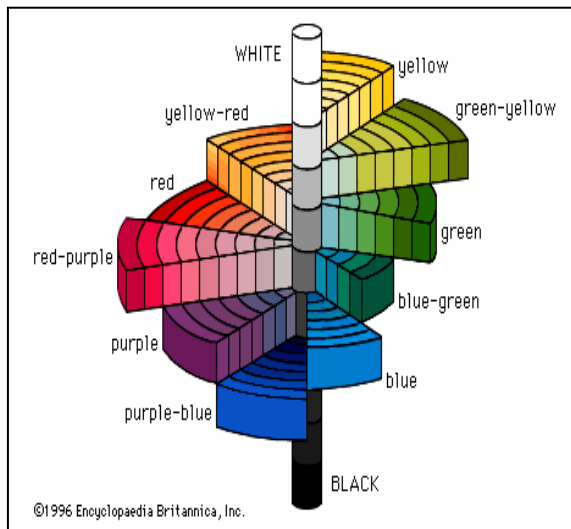
1671. Tabla de colores confeccionada por **Athanasius Kircher**, con dos dimensiones. Los puntos de la línea de la izquierda (blanco, amarillo, rojo, azul, negro) se unen por medio de un entrelazado que dan por resultado el resto de las combinaciones de colores.



1772. **Lambert** situó en una pirámide de base triangular el blanco en el vértice superior y los colores primarios en los otros tres. El negro lo opuso en el punto central de la base. Desde esta hacia arriba los colores se aclaraban y desde las aristas de la base hacia el interior oscurecían. Los modelos antiguos solían esconder los "colores feos" dentro del sólido y disponer del blanco en la parte superior.



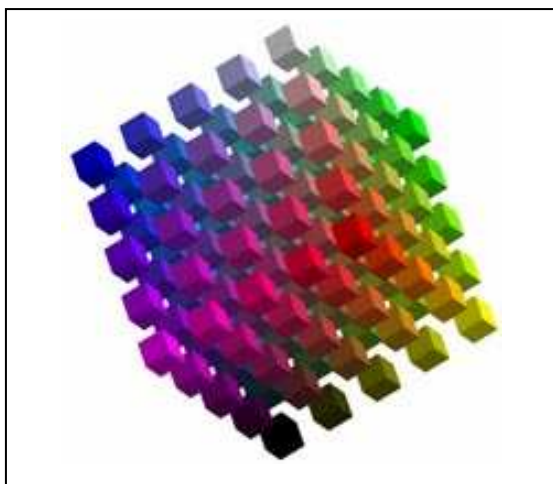
1810. Esfera de colores de **Runge**. En el polo superior, el blanco, en el inferior el negro. En la capa externa del hemisferio superior, están los colores claros, en la del hemisferio inferior los oscuros. En el ecuador se encuentran los colores puros. En el interior de la esfera están colocados los colores oscuros en igual orden. J. Itten en su "Arte de los colores" (1961) eligió también la esfera de colores como medio de ordenación y representación gráfica



1915. **Munsell** definió un sistema basado en los colores pigmentos y en tres parámetros: matiz (hue); valor (value) y croma (chroma), con un código de identificación por letras basada en la nomenclatura inglesa del color. Posteriormente en Dpto. de estandarización de USA adoptó este sistema.



1915. Doble pirámide de **Ostwald**. Se trata de dos conos encontrados por sus bases. Sobre la circunferencia común se disponen 24 colores, que desde el amarillo codificado con 00 pasa por el rojo, el violeta y el azul para volver al amarillo pasando por el verde. En el vértice superior se sitúa el blanco y en el inferior el negro; entre ellos una escala de grises codificados como aa, cc, ee, gg, ll, nn, pp. El eje central es la zona menos saturada y la posición más periférica (que coincide con la circunferencia conocida como el círculo de Ostwald) es la más saturada. Se le ha criticado mucho porque se dice que al situar todos los colores saturados al mismo nivel de luminosidad, está falseando la clasificación porque un amarillo puro no tiene la misma luminosidad que un azul puro.



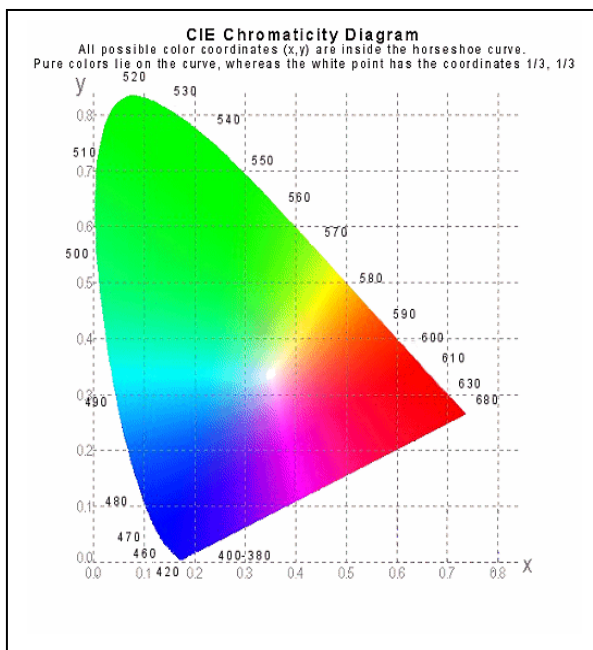
1940. **El cubo de Hickier**, es un hexaedro apoyado en uno de los vértices. La diagonal que une el vértice inferior con el superior forma escala de grises con el blanco arriba y el negro abajo. Los colores básicos de pigmento (amarillo, magenta y cyan) están en el extremo de las aristas que parten del blanco. Los colores primarios de luz resultantes de la mezcla de los básicos de pigmento se sitúan en las aristas que salen del negro. El gris medio está en el núcleo central del cubo y hacia los colores pierden saturación. Cada arista se divide en 10 partes, El sólido tiene 1000 divisiones iguales y los colores se codifican del 000 al 999.



1940. Modelo HLS. Hue-Lightness-Saturation (Tono-Luminosidad-Saturación).

Su representación tridimensional es un cilindro con el negro en su base y el blanco en el extremo superior. En la periferia se sitúan los colores más saturados conforme se acercan al eje central con la escala de grises de negro a blanco. El tono (hue) del color se identifica por grados (en la circunferencia) de 0° a 360° . La luminosidad se distribuye con una escala de 0 a 100 y la saturación va de la periferia al eje central en una escala de 0 a 100 también.

Corrige el modelo Ostwald pues los colores puros están situados a distinta altura según su luminosidad pero supone que hay varios "blancos" y varios "negros".



1931/76. Modelo CIE. En 1931 el enfoque científico respecto a la clasificación del color, cambió. Se dejó de lado el enfoque basado sólo en las propiedades físicas de la luz (longitud de onda, luminosidad) y en intentar encontrar un sólido regular que se adaptara para representar. Se pasó entonces a la percepción. Si el color es un proceso perceptivo y no una propiedad de los objetos o de la luz, había que basarse en la percepción.

La Comisión Internationale de l'Eclairage definió un « observador patrón » que identificaba las diferencias o similitudes que percibía al ser estimulado por distintas longitudes de onda. "La adopción de este modelo de observación humana supuso el punto de referencia común para la práctica de la colorimetría de modo sistemático (SANZ_1930).

La CIE propuso 3 primarios imaginarios (equivalentes al rojo, verde y azul) a los que llamó X,Y,Z. La luminosidad se representa por un vector perpendicular al plano de cromaticidad. Este modelo se actualiza periódicamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Albers**, Joseph. "La interacción del color". Ed. Alianza Forma. Madrid. 1980.
- Arnheim**, Rudolf. "Arte y percepción visual". Ed. Alianza Forma. Madrid. 2006.
- Arnheim**, Rudolf. "El pensamiento visual". Ed. Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires. 1968.
- Cage**, John. "Color y cultura". Ediciones Siruela. 1993.
- Da Vinci**, Leonardo, "Tratado de la pintura", 1964, Ed. Aguilar, Mexico
- De Donato**, H. "Paul Klee teórico", 1978, Ed. Alianza, Madrid
- DeWitt**, Bryce S., "La gravedad cuántica. – en Revista Scientific American - 1984
- Eizner**, O. y **Corballis**, M. "Posefectos negativos en la percepción visual", en Revista Scientific American - 1989
- Feyerabend**, P., "Tratado contra el método", , 1989, Ed. Infinito, Bs.As.
- Gilchrist**, Alan "La visión por humanos y por máquinas", en Revista Scientific American - 1984
- Goethe**, Johann Wolfgang. *Teoría de los colores*. Ed. Aguilar. Madrid. 1974.
- Goldstein**, E., "Sensación y percepción, 1989, Ed. Paidós, Madrid
- Haufman**, Lloyd, "Comparison of normalization and neural enhancement explanation of negative after-effects" 1975, Ed. MTI; USA
- Itten**, Johannes. *El arte del color*. Ed, Limusa. México DF. 1992.
- Kandinsky**, W. "De lo espiritual en el arte", 1985, Ed. Alianza, Madrid
- Katz**, David. *Psicología de la forma*. Ed. Espasa Calpe. Madrid. 1967.
- Krauskopf**, Franz "La visión por humanos y por máquinas", en Revista Scientific American - 1984
- Küppers**, Harald. "Fundamentos de la teoría del color". Editorial Gustavo Gili.
- Küppers**, Harald, "El color. Origen, metodología y aplicación", 1975, Ed. Visión, Bs.As.
- Mosser Koloman**, "Klee, arte y naturaleza", 1945, Ed. Alianza, Madrid
- Munsell**, Albert Henry. *A Colour Notation*. Munsell Colour Company Inc. Baltimore. EEUU.
- Nassau**, Kurt, "El origen del color en la materia" - en Revista Scientific American -1975
- Polyak**, R. "La retina", 1969, Ed. Debate, Madrid
- Roué**, P. "Eugene Chevreul y la historia del color", 1975, Ed. Anagrama, Barcelona.
- Sears-Zemansky**, "Tratado de Colorimetría, 1982, Ed. Aguilar, Mexico.