

Un modelo descriptivo de síntesis ópticas por mezcla rápida y su representación en 3D

A descriptive model of optical synthesis by rapid mixing and its 3D representation

José María González Cuasante⁽¹⁾, María del Mar Cuevas Riaño⁽²⁾,
Fernando Alonso Muñoz^(1,*)

1. Department of Painting-Restoration, Universidad Complutense de Madrid, Spain.

2. Department of Drawing I, Universidad Complutense de Madrid, Spain.

(*) Email: fernandoalonso@art.ucm.es

S: miembro de SEDOPTICA / SEDOPTICA member

Recibido / Received: 16/07/2010. Aceptado / Accepted: 20/12/2010

RESUMEN:

Las mezclas ópticas de colores son síntesis partitivas promediadas y producen los mismos efectos por mezcla rápida con discos coloreados que cuando los colores aparecen yuxtapuestos como tramas que se funden a cierta distancia. La mezcla rápida con discos permite variar fácilmente los porcentajes de superficie de los colores y es el método que hemos utilizado para observarla. La representación se hace en un triángulo equilátero en cuyos vértices se hallan tres primarios (verde, rojo y azul) que pueden igualar una mezcla de blanco y negro en un punto interior. Por ese punto atraviesa por tanto el eje blanco-negro y queda determinado un espacio tridimensional con esos cinco colores. La representación de los efectos se hace teniendo en cuenta los coeficientes de claridad de los integrantes de las mezclas y los porcentajes de superficie. La pintura que se sirve de estas técnicas puede predecir sus efectos viéndolos en la "mezcla rápida". El modelo incluye también una representación en 3D.

Palabras clave: Color, Mezcla Óptica, Mezcla Rápida, Pruebas de Igualación, Técnica Puntillista, Síntesis Partitiva.

ABSTRACT:

Optical color mixtures are averaged partitive synthesis and produce the same effects by rapid mixing with colored disks when juxtaposed colors and textures that melt at a distance. The rapid mixing disc allows to easily vary the percentages of surface colors and is the method we used to watch it. The representation is done in an equilateral triangle whose vertices are three primary (red, green and blue) to match a mixture of black and white in an interior point. On that point passes through both the white-black axis and three-dimensional space is determined with the five colors. The representation of the effects must be done valuing the weightings of clarity of the parts of the mixtures and the percentage of surface. Painting that uses these techniques can predict its effects and viewed on the "quick mix". The model also includes a 3D representation.

Key words: Color, Optical Mixing, Rapid Mixing, Matching Tests, Pointillist Technique, Partitive Synthesis.

REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] E. Marx, *Optical Color and Simultaneity*, Van Nostrand Reinhold, New York (1983).
- [2] O. Rood, *Theorie Scientifique des Couleurs*, Felix Alcan Editeur, Paris (1885).
- [3] M. A. Rosenstiehl, *Traité de la Couleur au Point de Vue Physique, Physiologique et Esthétique*, Dunot et E. Pinat, Paris (1913).
- [4] A. Munsell, *A Color Notation*, Munsell Color Company Inc, Baltimore (1946).

[5] J. M. González Cuasante, *El Color de la Pintura*, H. Blume, Madrid (2008).

1. Introducción

Las síntesis partitivas obtenidas por mezcla rápida, fueron muy utilizadas en la segunda mitad del siglo XIX por científicos y pintores. Combinando discos coloreados en ciertos porcentajes de superficie se ve el efecto de la síntesis que se representa según el valor de esos porcentajes. Maxwell sistematizó su representación en unos esquemas triangulares y, algo más tarde, O. Rood contribuyó a divulgarlos entre los artistas. A finales del siglo XIX y principios del XX los pintores tomaron conciencia de esa fusión óptica que utilizaron también para expresar en sus pinturas “puntillistas” por medio de la yuxtaposición de pequeñas manchas coloreadas de efectos parecidos.

Rood indica la forma de proceder con dos juegos de discos de distinto radio. Así encuentra la representación de colores que exceden los límites de los cinco colores básicos (tres primarios, blanco y negro). Pero sin haber definido antes bien los conceptos de claridad y saturación que parece confundir, la representación de las claridades no queda bien expresada en un modelo tridimensional.

Nuestro trabajo retoma este viejo modelo colorimétrico como una forma de entender de manera rápida e inmediata los fundamentos más elementales de la colorimetría y la percepción del color y sirve para predecir la localización espacial de los efectos producidos por las técnicas divisionistas de todo tipo que todavía son utilizadas en muchas modalidades de expresión plástica contemporánea.

2. Desarrollo

Se llaman “mezclas ópticas” de colores aquellas que no se producen físicamente ni como luces, en las conocidas “síntesis aditivas” ni como filtros coloreados o pigmentos en la “síntesis sustractiva”, sino que se originan en el acto perceptivo por falta de discriminación de pequeños estímulos coloreados yuxtapuestos o por mezcla rápida cuando esos estímulos se suceden temporalmente en una frecuencia de fusión. Se las conoce también como “síntesis partitivas” porque no suman ni restan como las anteriores, sino que el resultado es

un promedio perceptivo de las cualidades de los colores que las integran en cuanto a claridad y tono.

Frecuentemente estas mezclas no suelen aparecer en la naturaleza en estado puro y se dan en procesos de cierta complejidad conocidos como “síntesis mixtas”, habiendo zonas sustractivas o aditivas que dan paso a otras intermedias o exclusivamente ópticas. Estas modalidades son frecuentes por ejemplo en las cuatricromías de la industria de la reproducción del color en artes gráficas.

En esta ocasión vamos a centrarnos en un tipo de síntesis ópticas partitivas de colores materiales, es decir de pintura, y el impulso que nos ha llevado a ello es semejante al interés que provocaron en los pintores puntillistas a finales del siglo XIX, tras conocer algunos avances de la teoría del color llevada a cabo por los científicos que experimentaban con discos coloreados.

Desde Newton en adelante la experimentación de mezclas de colores con discos no se ha dejado de practicar, pero especialmente la utilización de este sistema de síntesis cromática llevada a cabo por Maxwell, fue realmente importante tanto que la representación en sus conocidos triángulos supuso, junto a las leyes de Grassman y los trabajos de Helmholtz, el origen de la Colorimetría. Las mezclas con discos en “mezcla rápida” producen la misma percepción que la yuxtaposición de pequeños puntos de colores vistos a cierta distancia, siempre que los porcentajes de superficie sean idénticos [1] (Fig. 1). Por eso algunos pintores puntillistas utilizaron los discos para predecir el efecto que se observaría en sus pinturas vistas de lejos.

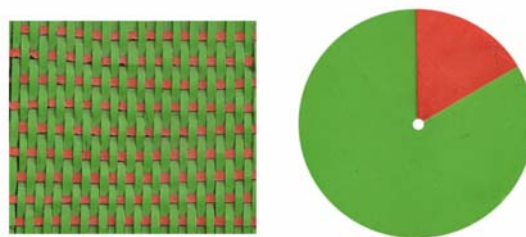


Fig. 1. La mezcla tramada de la izquierda tiene los mismos porcentajes de superficie que los discos de la derecha, cuya mezcla rápida produce los mismos efectos.

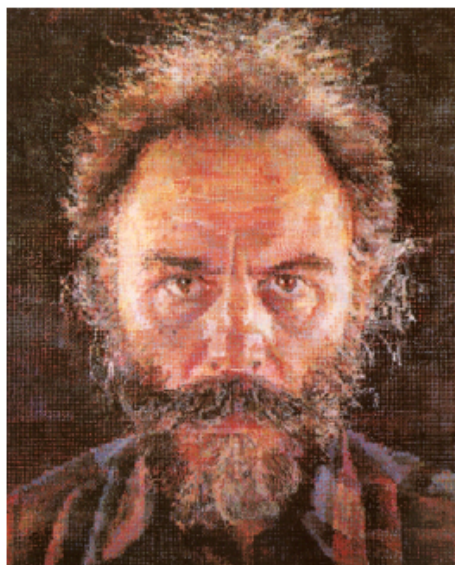
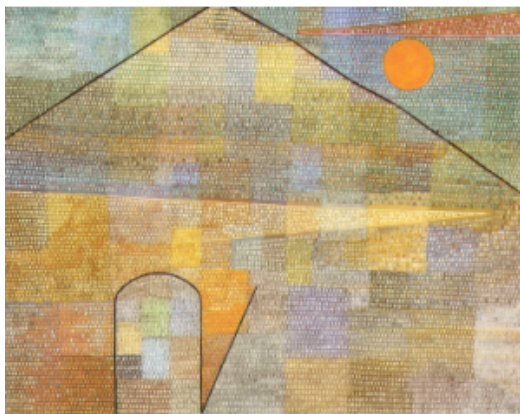


Fig. 2. Izquierda: Paul Klee, *Ad Parnassum*, 1937. Derecha: Chuck Close, *Lucas*, 1987.

El recurso divisionista no se agotó con el puntillismo de hace más de un siglo y se ha seguido y sigue practicando a lo largo de los siglos XX y XXI con diversas técnicas y procedimientos (Fig. 2). Aunque en el arte todo se hace con un sentido más lúdico y uno de los mayores placeres que se experimenta en estas pinturas suele corresponder al momento anterior a la fusión total, es decir, viendo las distintas vibraciones según nos acercamos o alejamos del cuadro, las mezclas rápidas ayudan a conocer sus efectos y si se quiere predecir con exactitud la combinación de la mezcla puntillista, es recomendable pintar esos colores y recortar unos discos. Siendo esto así de sencillo no haría falta avanzar mucho más como objetivos inmediatos.

Al retomar las experiencias de Maxwell, hemos pensado que también es muy interesante la clasificación y el ordenamiento de estas síntesis, y no solamente las que producen los tres colores primarios aditivos que se recomiendan, sino las que además incluyen blanco y negro e incluso las que exceden los propios límites del sólido cromático inicial. Una vez que se conoce el sistema aparece un modelo que ordena los colores según la percepción y eso es de gran utilidad para valorar los efectos estéticos de todas las interacciones cromáticas: inducciones, contrastes y armonía. Por tanto este sistema que va dirigido a los artistas, hemos preferido hacerlo incluso con los colores de

la pintura habitual con que trabajan. En este caso todas las muestras materiales de los discos se han hecho con pintura al óleo. Los recorridos de las gamas son sin embargo las mezclas ópticas que se observarían en un cuadro puntillista, aunque en algunas imágenes hemos procedido a imitar ese mismo efecto también con pintura (Fig. 3).

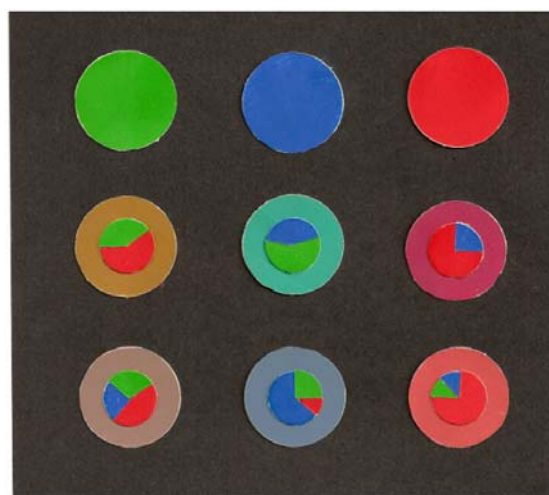


Fig. 3. Arriba tres colores primarios semejantes a los del modelo RGB. Debajo mezclas rápidas con los porcentajes de superficie que aparecen sobre el efecto que producen imitado en este caso con pintura.

El modelo toma como punto de partida los trabajos realizados por Maxwell y divulgados por Rood en su conocido libro “Modern Chromatic” [2]. Rood explica la forma de representar en el plano de un triángulo equilátero la combinación de tres colores primarios aditivos (azul, verde y rojo), convirtiendo los grados de los sectores en porcentajes de superficie. Una de estas combinaciones produce un metámero de blanco y negro cuando ambas se hacen rotar a la vez superpuestas con círculos de distinto radio. Ese punto de igualación es elegido para establecer el eje de claridad que hará posible una representación tridimensional. La localización de este punto neutro dentro del triángulo depende de la claridad y el croma de los primarios elegidos y es conveniente que se encuentre centrado en el triángulo como punto de equilibrio.

Si alguno de estos colores tiene distinta claridad, el plano del triángulo no podrá ser perpendicular al eje de claridades, estando inclinado. Además tratándose de un estímulo más fuerte, tal vez habrá que poner un porcentaje de superficie menor y eso puede falsear la representación del centro neutro. Puede ocurrir que ese color siendo claro incluya alguna estimulación de los otros dos además de la suya propia, cosa que suele pasar con frecuencia porque utilizando pintura pueden tratarse de muestras mezcladas materialmente con blanco.

Ocurre también que si un color es muy saturado, aun teniendo la misma claridad que los otros, participe con menor superficie para lograr el equilibrio porque, en términos relativos, es más fuerte que los otros dos.

Todas estas cuestiones previas hacen muy delicada la elección de los primarios, que idealmente deberían ser de idéntica claridad y croma. Creemos que estos aspectos no fueron debidamente tratados por Rood a finales del siglo XIX. Rood comentando el modelo de Maxwell advirtió que el equilibrio entre sus colores se lograba con tres tonos de distinta claridad y al corregirlo contabilizando sus pesos, el centro se desplazaba hacia uno de los extremos (Fig. 4). Igualmente otros autores, como Rosenstiehl [3] fueron conscientes de lo mismo, pero no propusieron alternativas sencillas en su momento. Tal vez la solución mejor entendida a principios del XX fue la de Munsell [4] explicando cómo balanceaban los colores en sus tres dimensiones y

como el peso mayor se corregía con distintas áreas. Munsell prefirió variar la altura de cada color en torno al eje tal y como ofreció en su conocido sistema de cinco colores. Nosotros sin embargo seguimos empeñados en el modelo tricromático.

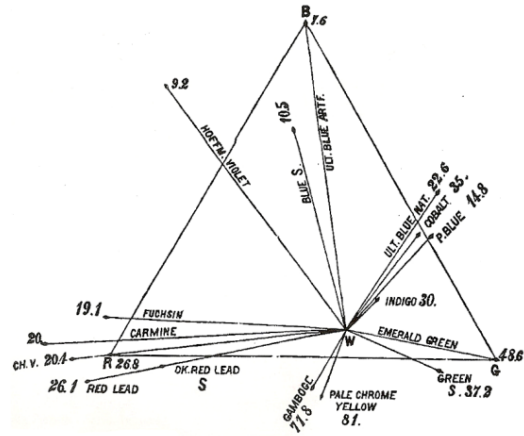


Fig. 4. Corrección del triángulo de Maxwell transformado por O. Rood [2] una vez contabilizada la claridad de sus primarios.

Una terna equilibrada de azul, verde y rojo próxima a brillantes colores RGB presenta un verde sensiblemente más claro que el rojo y el azul como vemos en la Fig. 3. Hemos experimentado varias opciones y teniendo que decantarnos por una, hemos preferido que los valores de estos colores sean prácticamente iguales sacrificando en su caso la saturación. Así utilizando un verde de la misma claridad que el azul y el rojo es necesario que participe algo más puesto que hay que rebajar su intensidad. El centro se aproxima un poquito hacia él porque está algo desaturado.

Los aspectos más destacados del sistema puesto en práctica son los siguientes:

- La claridad entre los primarios no la hemos fiado al ojo y ha sido comprobada con el colorímetro.
- El color que ha servido como punto de referencia ha sido un rojo de cadmio claro aplicado de forma cubriente en pintura al óleo con un valor $Y = 17$ con el iluminante colorimétrico D65.
- Un verde de esa misma claridad para utilizar como primario ha sido una mezcla material de tres partes de verde viridian y una de amarillo de cadmio claro. Como azul de un valor igual a los anteriores, una mezcla de siete partes de azul cobalto y una de blanco de titanio.
- El valor que se adopta como origen para estos colores primarios y por consiguiente para todas

sus combinaciones es de 100 y su coeficiente cuando participan en las mezclas es de 1.

- El punto de la mezcla de 43% verde, 28,5% de rojo y 28,5% de azul iguala otra combinación de 15% de blanco ($Y=87,5$) y 85% de negro ($Y=5,30$) (Fig. 5)
- El valor relativo del blanco respecto a 100 es minimamente redondeado con coeficiente 5 y el del negro es de 0,3. El valor total del blanco [5] es de 500 y el del negro 30 (Fig. 6). En la referencia [5] aparece un desarrollo bastante más amplio de los conceptos básicos de este trabajo. En esta ocasión hemos preferido redondear un poco algunas cifras de los coeficientes para facilitar el trabajo de los colaboradores por lo que algunos datos varían respecto a los que aparecen en el libro, pero los resultados prácticamente no difieren.

La mezcla de un color de la base con blanco necesariamente se va aclarando y desaturando a la vez. Siendo por ejemplo 50% de blanco y 50% de azul el valor de la mezcla será $(50 \times 5) + (50 \times 1) = 250 + 50 = 300$. El valor que se alcanza en el eje de claridad, cuya altura máxima es 500, está en el nivel de 300. La representación de esa combinación en el plano se realiza por la línea que une el punto neutro con el vértice azul proporcionando las partes de blanco y azul (hay que tener cuidado de no confundir las medidas que se deben contar desde el extremo opuesto en cada caso).

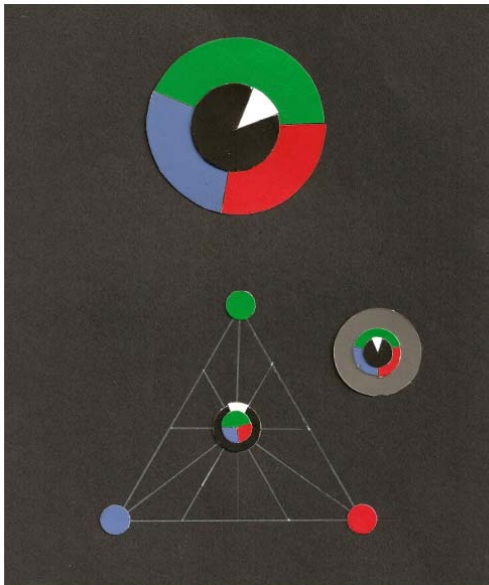


Fig. 5. Arriba: 43% de tres partes de viridian y una de amarillo; 28% de rojo de cadmio claro; 29% de 7 partes de azul cobalto y una de blanco de titanio. Esta combinación óptica iguala otra de 13,5% de blanco de titanio con 86,5% de negro de marfil. Abajo: Representación del gris igualado dentro del esquema.

De esta forma se describe un recorrido ascendente cóncavo desde cada color al blanco, como resultado de la rápida desaturación que conlleva este color. Igualmente el otro recorrido descendente hacia el negro es convexo porque la desaturación que produce el negro es escasa debido al pequeño coeficiente y el color de la mezcla se oscurece sin perder tan rápidamente croma (Fig. 7). La apariencia de la mezcla óptica de esas combinaciones en mezcla rápida es la misma que la de unas tramas con esos mismos porcentajes de superficie y es así como sabemos la apariencia de tono, claridad y croma de cualquier tipo de mezcla óptica puntillista antes de proceder a un ensayo perceptivo (Fig. 8).

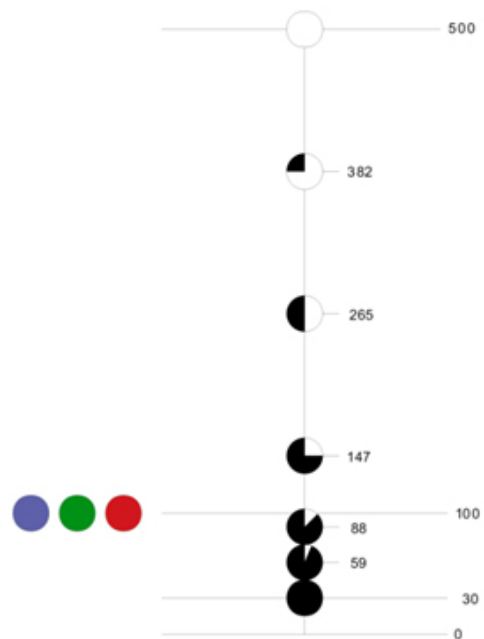


Fig. 6. Escala de grises entre 30 negro y 500 blanco. El nivel 100 corresponde a los tres primarios utilizados en el sistema.

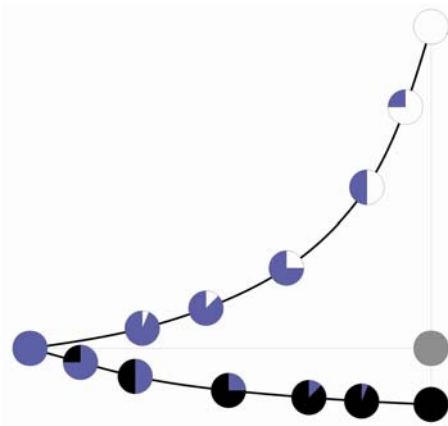


Fig. 7. Recorridos ascendente al blanco y descendente al negro representados en altura según los porcentajes de superficie.



Fig. 8. Correspondencia entre los porcentajes de superficie de los discos y tramas, utilizando los mismos colores.

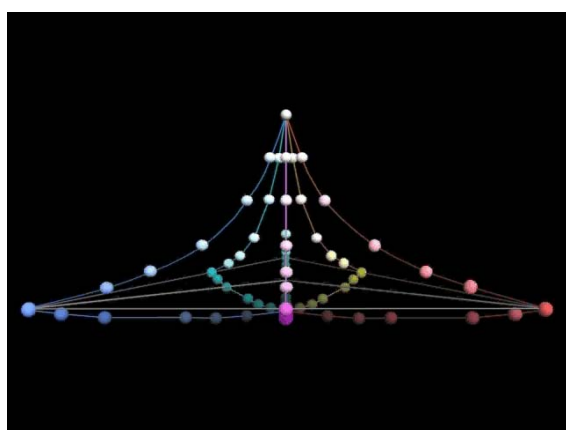


Fig. 9. Representación en 3D de los colores primarios y sus complementarios respectivos, en recorridos ascendentes al blanco y descendentes al negro (animación en Fig9.avi).

Todas las posibles combinaciones entre estos cinco colores: azul, verde, rojo, blanco y negro están comprendidas dentro del espacio delimitado tal y como se observa en la representación en 3D realizada para este trabajo (Fig. 9).

Pero el sistema permite también situar otros colores materiales de pintura que exceden los límites establecidos por esos cinco colores. Es decir, aquellas muestras más saturadas que no se abarcan dentro del espacio ya definido. Para eso debemos recortar un disco de ese color que combinamos con los dos colores neutros, blanco y negro, superponiendo este juego de colores de un radio menor a los primarios y, haciendo la mezcla rápida se trata de ir variando los sectores de todos ellos hasta que se alcanza la fusión óptica entre los dos juegos. La igualación se hace en el punto del triángulo que determina la combinación de los primarios con valor 100. Ahora solo se trata de despejar el que supone la incógnita del color en cuestión después de descontar los valores de blanco y negro de la combinación donde ese color se halla.

Girando por ejemplo una combinación de rojo y verde concéntrica con otra de amarillo, blanco y negro, una vez igualadas ambas y conocidos todos los valores integrantes excepto el amarillo, es fácil resolver la ecuación despejando su valor.

La combinación de verde-rojo determina en ese lado del triángulo la orientación tonal del amarillo. Las cantidades de amarillo, blanco y negro de la otra combinación indican las distancias en el plano relativas al punto de igualación. Así sabemos dónde se encuentra el amarillo. Finalmente a partir de la proporción de amarillo en la mezcla se obtiene su valor total que es lógicamente bastante claro (Fig. 10).

Una vez determinada su situación, las mezclas ópticas de amarillo con blanco o negro se hacen contando con la participación de su coeficiente que en este caso es de 4, por tanto próximo al blanco. Por eso el recorrido más espectacular en esta ocasión es hacia negro con una curva convexa de muchos matices que se van oscureciendo (Figs. 11 y 12).

Contando con este color nuevo en el sistema el sólido inicial crece y abarca un espacio mayor (Fig. 13). Podrían así representarse las mezclas ópticas de amarillo a rojo o verde según los porcentajes de superficie y en general todas las mezclas hacia otros colores conocidos.

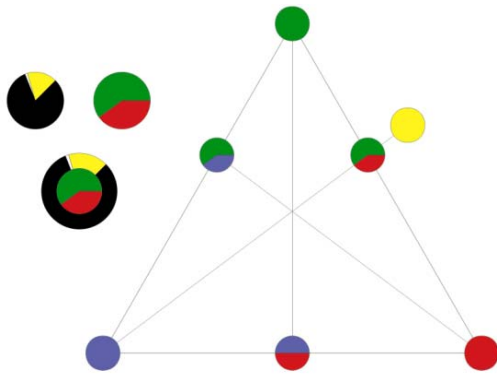


Fig.10. Esquema de las combinaciones efectuadas para determinar la situación de un color amarillo.

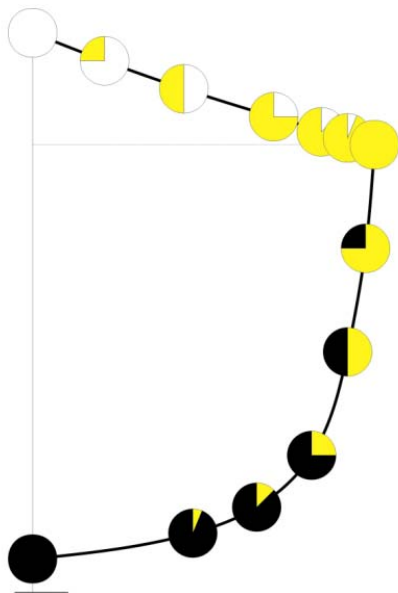


Fig. 11. Recorrido ascendente al blanco y descendente al negro de las gamas ópticas a partir del amarillo anteriormente determinado.

Ese mismo procedimiento utilizado para el amarillo, sirve para determinar la situación de cualquier otro color material tal y como aparece en la Fig. 14, donde también se imita con pintura la apariencia de las combinaciones según los porcentajes de superficie. Esa apariencia es la que se produciría en un cuadro puntillista y se observa perfectamente como el modelo al que se aproximan los colores obtenidos es el de la síntesis aditiva pero con claridades promediadas. Así ciertas combinaciones de azul y naranja pueden dar tonos violáceos frente a los parduscos o terrosos que aparecerían en la síntesis sustractiva.

Finalmente y haciendo las combinaciones oportunas para averiguar el punto de cada color de

una gama sustractiva, se ve con gran claridad la diferencia entre ambos recursos. Así una gama partitiva entre azul y amarillo como la de la Fig. 15 da prácticamente tonos grises bien diferentes a la gama sustractiva cuando se mezclan materialmente y que ofrece vivos y saturados verdes.

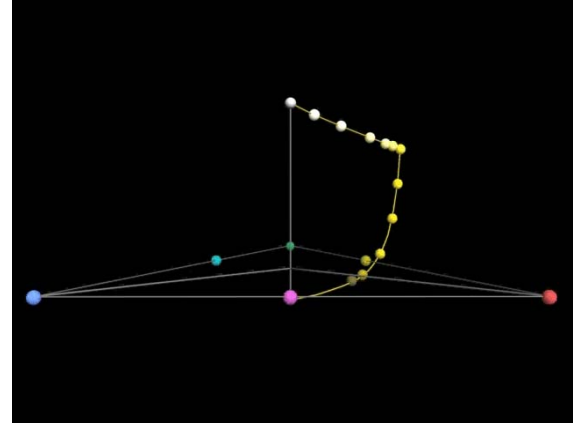


Fig. 12. Integración del amarillo anterior dentro del espacio 3D. (animación en Fig12.avi).

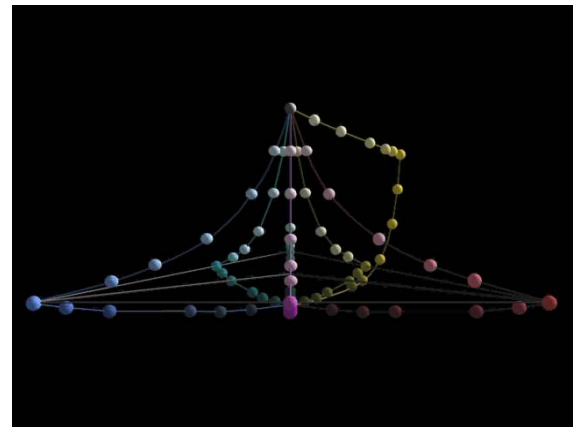


Fig. 13. Representación de la situación del amarillo dentro del esquema anterior representado con los colores básicos. (animación en Fig13.avi).

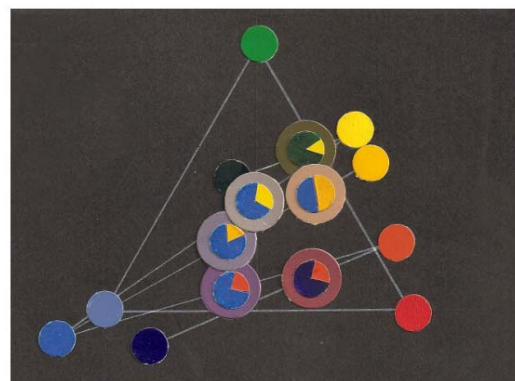


Fig. 14. Representación de algunos colores materiales saturados y recorridos ópticos entre los mismos. Las mezclas ópticas que se producirían con los porcentajes de superficie que aparecen en la ilustración, están en este caso imitados con pintura.

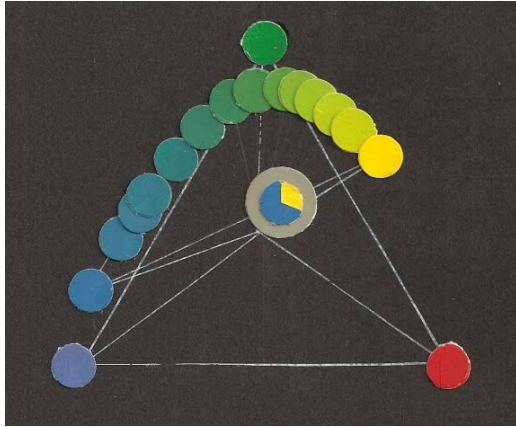


Fig. 15. El recorrido de la mezcla óptica entre amarillo y azul es una continua desaturación de estos colores que acaban por producir prácticamente un gris. La mezcla matérica de los mismos produce todo ese recorrido curvo de verdes bastante saturados.

Añadiríamos para concluir que una vez que el sistema sirve para representar también cualquier tipo de mezclas materiales según las determinaciones de tono, valor y croma, el modelo se aproxima con bastante precisión a cualquier otro de tipo colorimétrico, tanto al CIE31 como al CIElab.

Aunque es aconsejado hacer las igualaciones siempre con la misma luz, y así hemos procurado hacer, algunos pequeños desajustes del iluminante natural o del observador no han sido significativamente importantes para variar sustancialmente los resultados como hemos podido comprobar en muchas ocasiones. Además este modelo constituye más una metodología para utilizar con cierta holgura que una propuesta científica que, sin duda, hace tiempo que ha sido superada.

La intencionalidad de este modelo sencillo y esclarecedor va dirigida a los artistas por ser muy plástico y directo. La representación de los colores siguiendo un modelo perceptivo se abre también a la predicción ulterior sobre los efectos de inducción cromática, los contrastes y las armonías y en ese sentido ofrece un enorme caudal de sugerencias diversas para ser aplicado por diseñadores y artistas, evitando los errores derivados de otros modelos organizativos de tipo sustractivo que no coinciden con la percepción.

3. Conclusiones

A pesar de ser un modelo de representación sencillo, las correspondencias con los sistemas colorimétricos más evolucionados son grandes como no puede ser de otro modo ya que se trata de un sistema de representación perceptivo donde los componentes materiales de los colores de la mezcla no intervienen ni como densidades ni como cantidades pigmentarias. Comprobada la gama de las mezclas ópticas partitivas entre dos tonos con el recorrido perceptivo que describe la mezcla matérica de esos mismos colores, de descubren los desvíos sensoriales entre ambas y se entiende mejor el comportamiento de la materia. En el modelo representado en 3D se muestran algunos de los recorridos más elementales y básicos de los colores primarios al blanco y negro (Fig. 2). Unos mismos porcentajes de superficie en una pintura “puntillista” proporcionarían similares efectos, vista a cierta distancia debido a la fusión óptica por pérdida de agudeza.