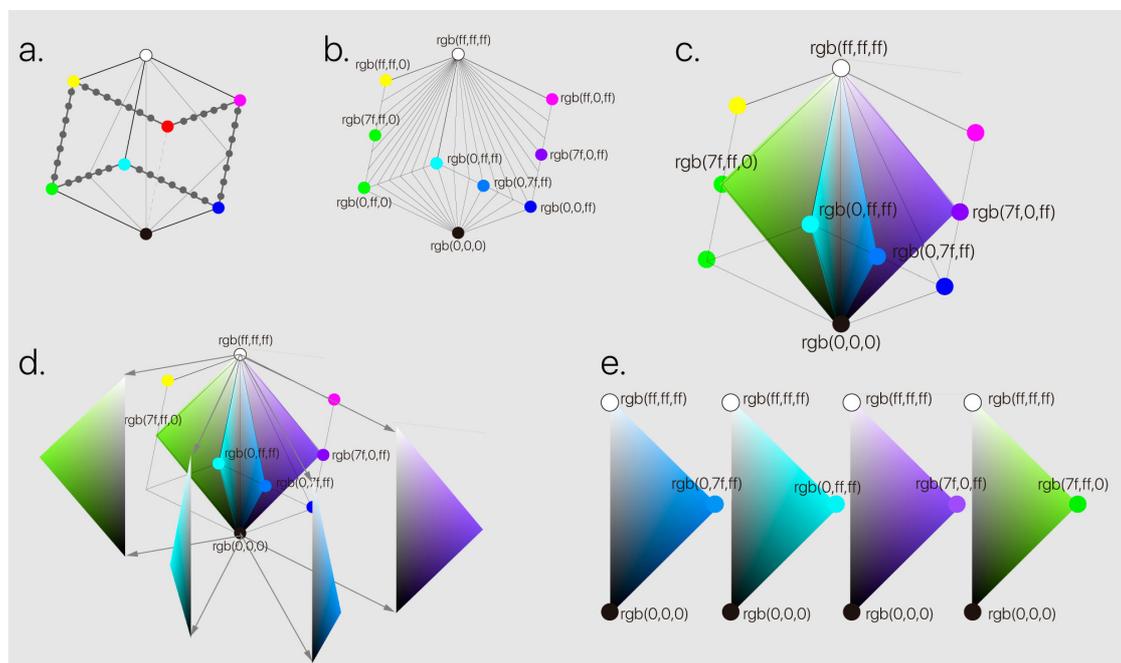


teoría del color (ingredients)

Ph.D. Franklin Hernández-Castro.

Instituto Tecnológico de Costa Rica
franhernandez@itcr.ac.cr

1era edición: diciembre 2016



introducción

este documento resume los aspectos centrales de la teoría del color que se deben tomar en cuenta a la hora de diseñar. fue redactado para mis estudiantes en la escuela de diseño industrial del instituto tecnológico de costa rica.

índice

teoría del color

1. naturaleza de los colores	3
2.1. hue	3
2.2. luminosidad	3
2.3 saturación	4
2.4. sistemas de color RGB y HBS	4
2.4.1. RGB	4
escala de los canales en rgb	5
2.4.2. HSB	5
escala de los canales en hsb	5
2. modelos	6
2.1. el romboedro de küppers	6
2.1.1 interior del romboedro	8
3. composiciones cromáticas	10
3.1. características de las composiciones cromáticas	11
la matriz cromática	11
3.1.1. la masa	12
3.1.2. vecindad cromática	12
3.2. composiciones clásicas	13
3.2.1. un solo hue	13
3.2.2. colores similares	14
3.2.3. colores complementarios	15
3.3. leyes de composición de colores	16
3.3.1. ley de ambigüedad cromática	16
3.3.2. ley de la normalidad	17
3.4. composiciones en diseño de información	18
3.5. códigos cromáticos	21
13. References	24

teoría del color

"de la misma manera que únicamente por el contexto una palabra aislada puede adquirir completa significación propia, así la relación que se establece entre distintos colores es la única que da a cada uno de ellos su verdadero sentido y su particular expresión"

johannes itten

1. naturaleza de los colores

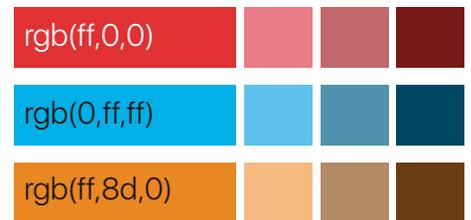
antes de poder hablar un poco en profundidad de los colores unifiquemos algunos conceptos.

la identificación de un color se hace a través de tres variables que definen su identidad, hay muchos modos de decirle en español a estas tres variables y muchos de ellos son contradictorios, por esa razón usaremos a veces algunos términos en inglés que son inequívocos e internacionales:

2.1. hue

es el color en sí mismo, es la diferencia entre un rojo y un azul, un azul puede ser **claro**, **pastel**, **pastilla**, **oscuro**, pero sigue siendo un azul específico.

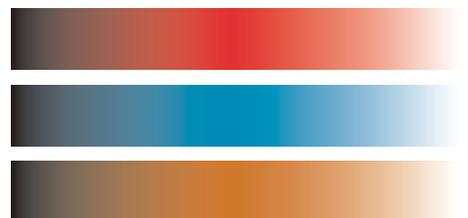
ese es el hue, a veces denominado **matiz**. en la figura de la derecha se ven diferentes hues con calidades distintas, como se ve, un específico hue puede ser claro u oscuro, puro o borroso pero siempre será ese mismo color, matiz o croma.



2.2. luminosidad

conocida internacionalmente como **brightness**, la luminosidad es simplemente la combinación de un color con el blanco por un extremo o con el negro por otro. la luminosidad es la cantidad de luz con la que se ilumina el color.

en la figura vemos los mismos tres colores de arriba con una degradación hacia el **negro** a la izquierda y hacia el **blanco** a la derecha.

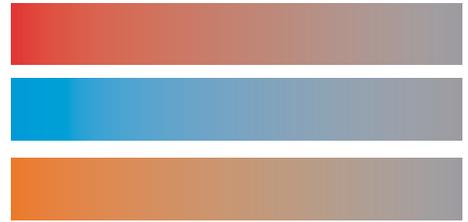


2.3 saturación

se denomina saturación al grado de pureza del color, algunos autores se refieren como a la combinación del color con el gris medio.

en esta categoría el color se va desvaneciendo hasta quedar en un tono gris medio, es decir sin color. nótese que en las categorías anteriores el color seguía teniendo sus características, es decir un rojo seguía siendo un rojo, aunque oscuro o claro, aquí ya no es más, el rojo sino que se convierte en gris.

por trabajar con ambientes digitales, nosotros nos vamos a quedar con estos tres conceptos, sin embargo (como he comentado en otros textos¹), para el uso de colores en productos físicos como en diseño industrial o arquitectura, sería necesario ver la textura y la reflectancia, que en el mundo real también definen la percepción de los objetos.



2.4. sistemas de color RGB y HBS

hay varios sistemas para describir un color, el más común es CMYK usado en colores sustractivos, es decir, para impresión con tintas, por eso se añade el K, que es negro para aumentar su capacidad de representación de todos los colores.

sin embargo, en este documento hablamos de modelos usados en los ambientes digitales así que no vamos a tomar en cuenta ese sistema.

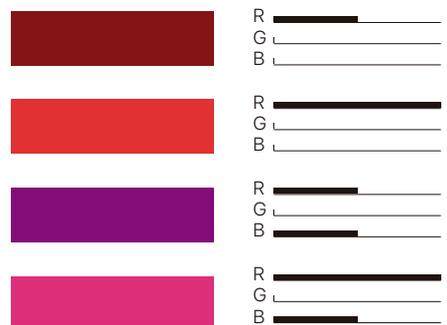
2.4.1. RGB

el sistema RGB es el más común en sistemas digitales y se usa mucho en el manejo del color por código. simplemente se trata de especificar la intensidad con la que cada canal está encendido.

recordemos que cada pixel o let (en caso de lets para pantallas de gran formato o instalaciones) puede "encenderse" en los tres canales básicos rojo (r), verde (g) o azul (b). cada canal puede ir de completamente apagado a completamente encendido. cuando todos están apagados el pixel es negro y cuando todos están encendidos el pixel es blanco.

pensando de ese modo podemos entender los colores. si tenemos todos los canales apagados pues nos queda negro, pero si encendemos solo el canal rojo a mitad de intensidad tendremos un rojo algo oscuro, a más intensidad un rojo fuerte.

pero si además del rojo a media intensidad encendemos el canal azul a intensidad media, obtendremos un morado y si entonces aumentamos canal rojo al máximo obtendríamos un fucsia. como se ve en la figura.



¹ Hernández-Castro, F. (2008)

escala de los canales en rgb

por razones técnicas, la escala con la que se manejan estas intensidades de encendido y apagado van de 0 a 255, esto se debe a que los colores se representan en bytes y estos son colecciones de 8 bits, y 2^8 es 256. también se usan escalas en hexadecimal que es un sistema con base 16.

para no ponerme demasiado técnico, solo diré que 0 es apagado y 255 es completamente encendido, mientras que en hexadecimal 0 es apagado y FF completamente encendido. en una escala así: 0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-A-B-C-D-E-F.

así que un color se especifica con tres números que definen cuán encendido está cada canal. en el caso de los decimales cada número va de 00 a 255 y en el caso de los hexadecimales va de 00 a FF.

en la figura se pueden ver los colores que hemos venido viendo en los ejemplos con sus valores en los dos sistemas de numeración.

$$\text{rgb}(ff,0,0) = \text{rgb}(255,0,0)$$

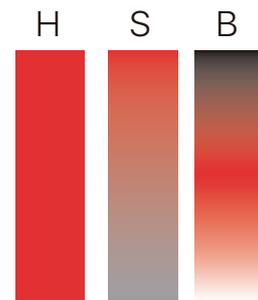
$$\text{rgb}(0,ff,ff) = \text{rgb}(0,255,255)$$

$$\text{rgb}(ff,8d,0) = \text{rgb}(255,133,0)$$

2.4.2. HSB

el sistema HSB también se usa a menudo para especificar colores. para trabajos de diseño es mucho más versátil que el sistema RGB, que como se vio, es poco intuitivo en cuestión de manejo del color.

cuando el color se maneja en código, a menudo es fácil cambiar de un sistema otro a para controlar mejor las elecciones que se hagan. en este sistema los valores son el hue, la saturación y la luminosidad. es decir los tres valores con los cuales se define un color.



escala de los canales en hsb

los canales se manejan distinto a lo que hemos visto en hsb, de hecho, no se manejan igual en los tres canales sino que generalmente el canal "h" o hue, se maneja en una escala de 0 a 360, insinuando que son los grados alrededor del círculo cromático, generalmente empezando en rojo. mientras que los canales "s" y "b" se manejan en porcentajes.

en ese sistema es mucho más fácil combinar colores, como veremos más adelante. en la figura de la derecha se ve como los valores en rgb no son correspondidos en hsb.

$$\text{rgb}(ff,0,0) = \text{HSB}(0,100,100)$$

$$\text{rgb}(0,ff,ff) = \text{HSB}(200,60,90)$$

$$\text{rgb}(ff,8d,0) = \text{HSB}(30,60,90)$$

2. modelos

desde que sir isaac newton separó la luz por primera vez en 1665, se han hecho muchos ordenamientos del color. como nuestro énfasis es digital, vamos a usar un modelo que se adapta este tipo de color.

o sea, que no vamos a entrar en los esquemas de color sustractivos sino solo los aditivos. dentro de los posibles modelos de ordenamiento seleccioné el sistema de harald küppers² como el más adecuado, pues nos servirá después para trabajar en otros aspectos del color como composiciones y combinaciones.

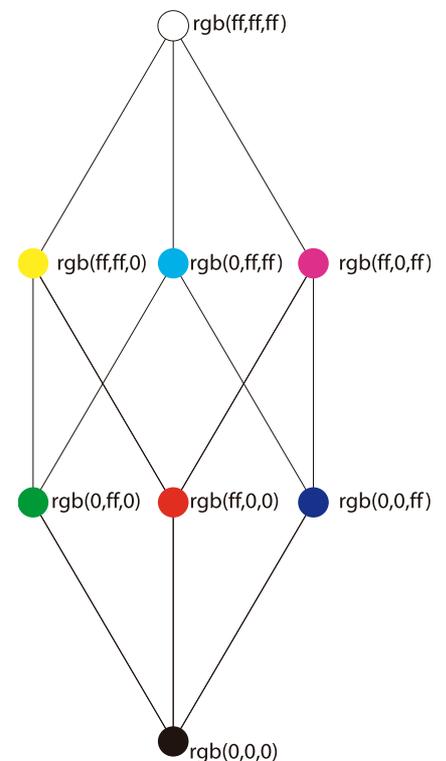
2.1. el romboedro de küppers

el romboedro de küppers es un ordenamiento tridimensional del color. para simplificarlo vamos a pensar en un cubo (que no es un romboedro), erguido en uno de sus vértices. el vértice inferior es el color negro. es decir los canales RGB todos están apagados o en cero.

de ahí salen tres aristas hacia los colores en los que un canal tiene la máxima intensidad y los otros dos tienen cero. estos son los tres colores que se conocen como los **primarios aditivos**. en el dibujo se usa sistema hexadecimal así que el máximo es FF y el mínimo es 0, hablamos de rojo, verde y azul.

a partir de ahí se proyectan dos aristas por cada uno de estos vértices hacia otros tres vértices. cada uno de estos nuevos vértices combinan los colores primarios, generando los colores **secundarios aditivos**: magenta, cian y amarillo. como se ve en la figura, estos vértices tienen dos canales al máximo FF y el otro al mínimo o apagado.

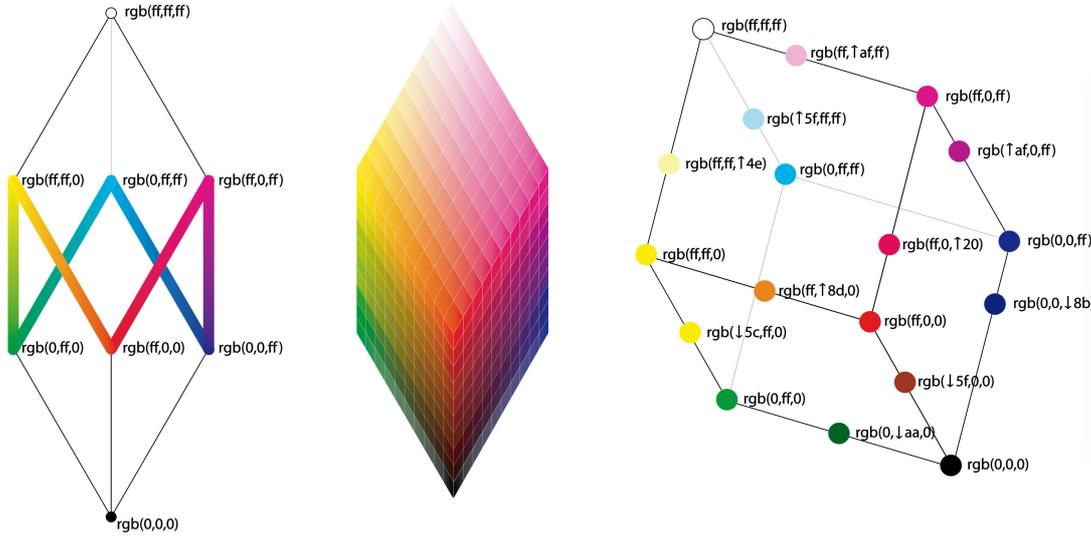
finalmente desde ahí se proyectan otras tres aristas hacia el "polo norte" del cubo, donde los tres canales están al máximo y por lo tanto es el color blanco.



romboedro de küppers mostrando los colores primarios y secundarios del sistema aditivo.

² [Kueppers, H. (1980-2002)]

el resultado es un ordenamiento de los colores en forma superficial, donde todos los colores con 100% de saturación están en esa superficie.

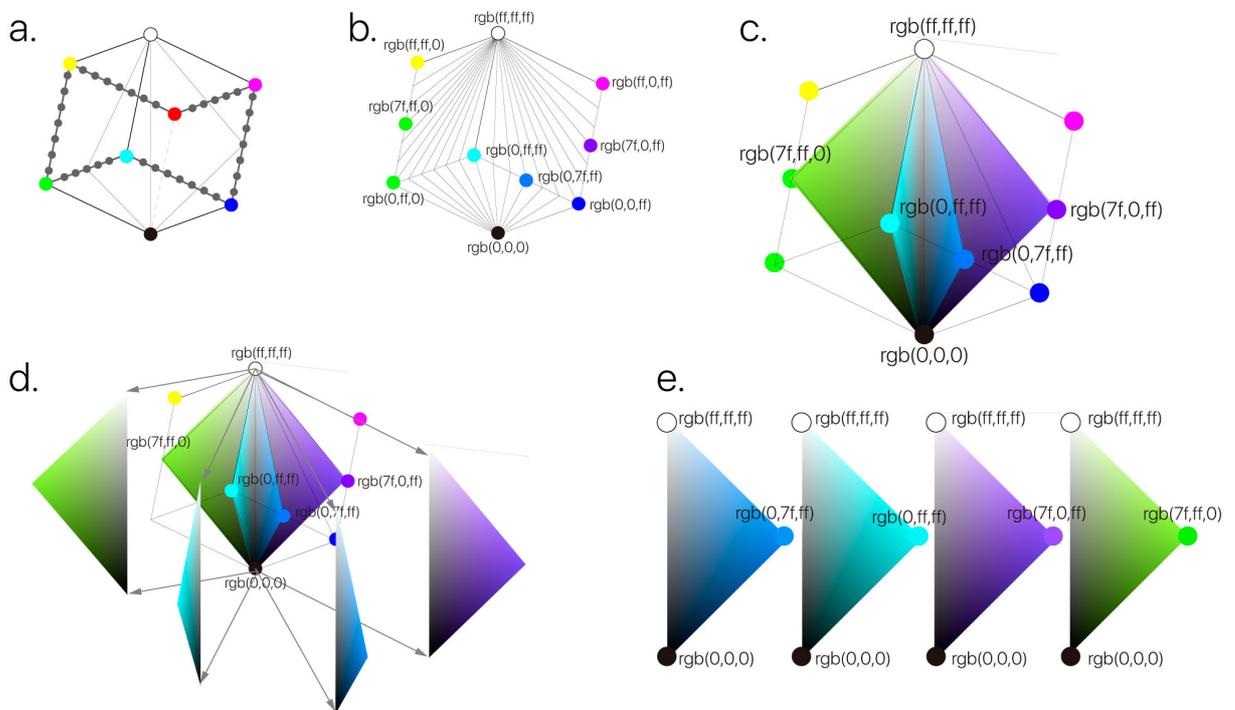


2.1.1 interior del romboedro

por supuesto hacen falta todos los colores con menos saturación, estos se ordenan al interior del cuerpo.

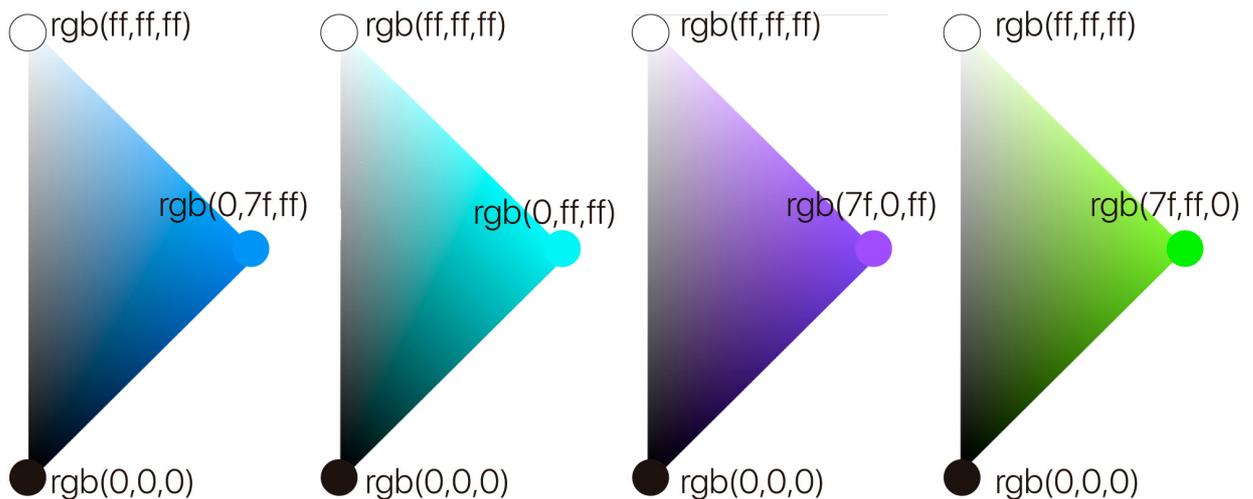
para ordenar estos colores pensemos primero en el eje vertical entre los dos polos, aquí se encuentran todos los grises puros pues están entre el blanco y el negro. ahora pensemos en la línea "del ecuador" como se muestra en la parte "a" de la figura.

alrededor de esta línea ecuatorial se encuentran todos los colores puros, con saturación del 100% y sin mezclas ni de blanco, ni de negro, los colores del clásico círculo cromático.



a partir de cada uno de estos colores se construye un triángulo con un vértice en el color mismo, uno en el polo blanco y otro en el polo negro, como se ve en "b" y "c". a este triángulo se le conoce como el **triángulo de matices**.

estos triángulos de matices encierran todos los colores asociados a este hue, con todo el espectro de luminosidades y saturaciones. ejemplos de estos triángulos los vemos en la figura a continuación.



con eso finalizamos el orden cromático en el romboedro de tal modo que todos los colores se encuentran ordenados en algún lugar del sólido.

el sólido además es coherente con las luminosidades de cada canal, de modo que los colores secundarios como el amarillo, el cian y el magenta, están más cerca del polo blanco que los colores primarios rojo, azul y verde. estos últimos solo tienen un canal al máximo y los otros dos apagados.

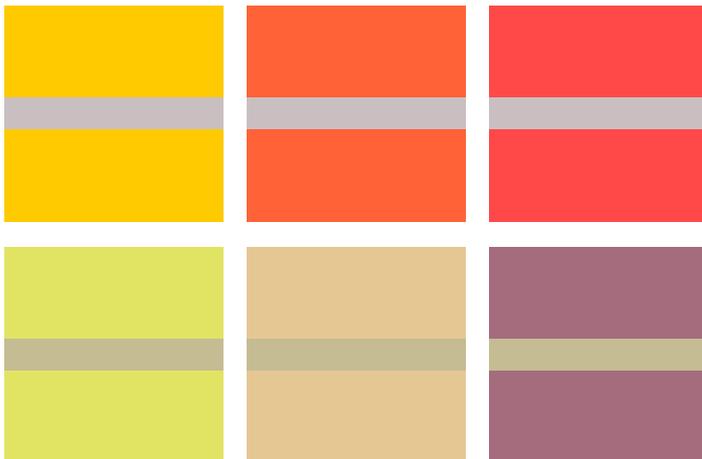
así que es un buen ordenamiento del color que lleva intrínseco en su estructura la lógica del sistema de luz rgb, y por lo tanto ayuda a entender la mecánica del color

3. composiciones cromáticas

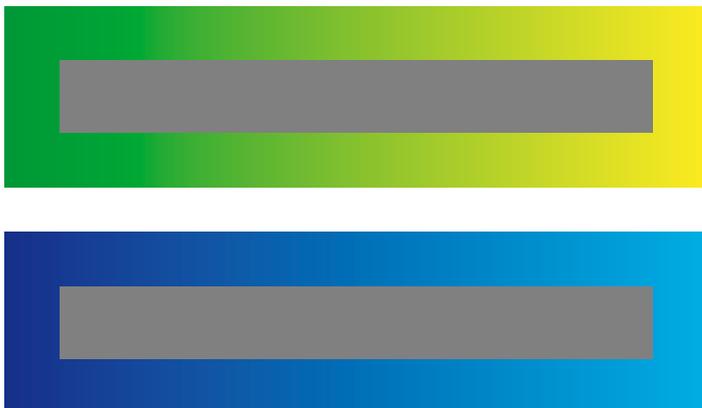
obviamente los colores solos, como los hemos definido en los apartados anteriores no sirven de mucho, los colores rara vez aparecen solos, siempre están acompañados y los diseñadores siempre estamos decidiendo que conjunto de colores usaremos.

de hecho los colores cuando están combinados ni siquiera se perciben igual que cuando están solos y por eso es importante verlos en conjunto (el texto clásico al respecto es el de johannes itten³).

en el ejemplo de la figura abajo, los colores del centro en ambas hileras son el exactamente mismo y como se ve, tanto el gris como el verde cambian claramente cuando están en contexto con otros colores.



este fenómeno es conocido como contraste de simultaneidad.



por ejemplo en la figura de arriba los grises del centro son sólidos y la ilusión de degradación viene de la mezcla con el fondo.

³ [Itten, J. (1961-1994)]

para entrar en este tema necesitamos algunas variables más, las variables que definen la composición cromática.

3.1. características de las composiciones cromáticas

una composición cromática es un conjunto de colores que son armónicos entre sí.

como se ha descrito en el apartado anterior, los colores se perciben distinto si están en presencia de otros colores, así que es necesario estudiarlos en conjunto.

la matriz cromática

para codificar estas composiciones usamos las matrices cromáticas⁴ que son estas cuadrículas de 7x7 o 9x9 cuadrados. son un buen modo de tener no solo los colores involucrados en la composición, sino también, las características de la composición en si misma.

como se ve en la figura de abajo, la cuadrícula capta con toda eficiencia la composición cromática de la foto, no solo en los colores participantes, sino su proporción y disposición.

ningún otro esquema toma en cuenta estas dos importantes características de las composiciones cromáticas, así que para especificar una composición usaremos matrices cromáticas.

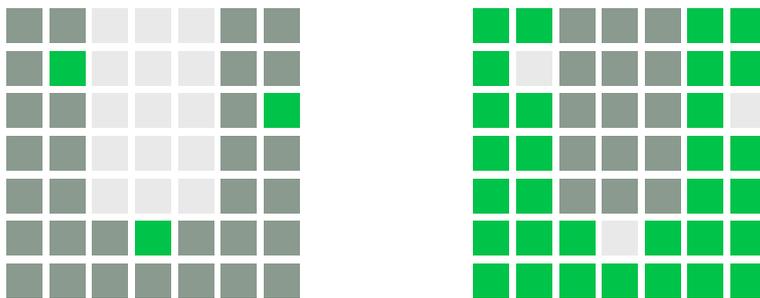


⁴ acerca de las matrices cromáticas ya escribí más detalle en [Hernández-Castro, F. (1995)]

3.1.1. la masa

es el área de un color que hay en una composición con respecto al área total de la misma, y por lo tanto, en proporción con los otros colores que aparecen en la composición.

se mide en porcentajes de área en relación al área total. casi nunca es estudiada como tal, sin embargo, es una obvia característica de una composición cromática pues si cambia, aún sin cambiar ningún color, el mensaje semántico de la composición puede ser completamente distinto.



en la figura de arriba, por ejemplo, las composiciones tienen los mismos colores participantes, solo en diferente proporción dentro de la composición (diferente masa) y como se ve, sus mensajes semánticos son muy distintos.

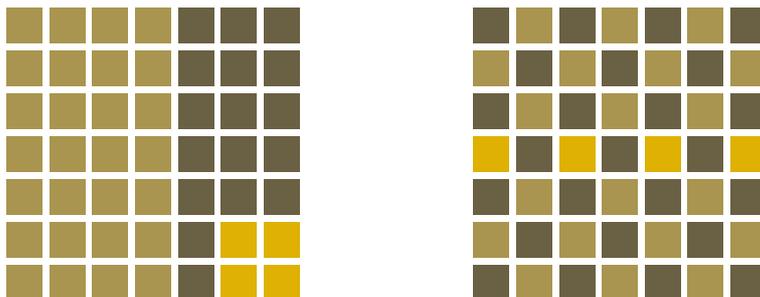
3.1.2. vecindad cromática

es la posición de un color con respecto a sus colores vecinos.

como hemos dicho, un fenómeno típico de la teoría del color es el contraste de simultaneidad, cada color va a actuar de modo diverso si está en vecindad con unos u otros colores.

así que si dos composiciones tienen exactamente los mismos colores, con la misma masa, pero ordenados en forma distinta el efecto semántico será distinto.

en la figura inferior se ve un ejemplo, las dos composiciones tienen los mismos colores y la misma masa, solo cambia el sentido de vecindad cromática.



3.2. composiciones clásicas

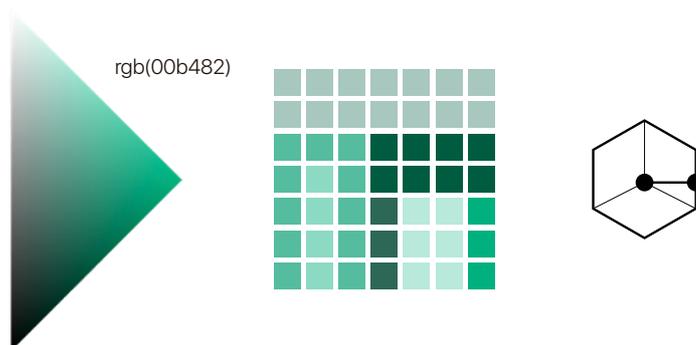
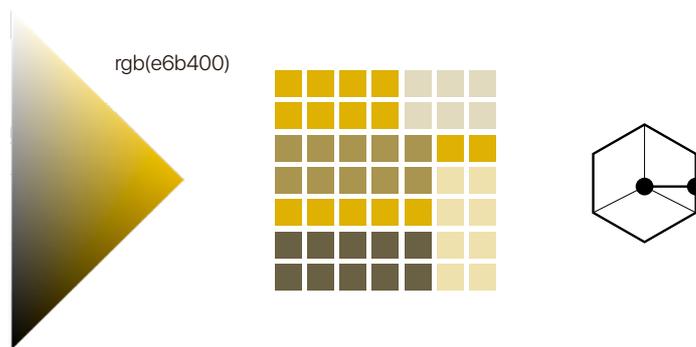
se ha escrito mucho sobre relaciones entre los colores y hay toda una teoría sobre los siete u ocho contrastes principales del color.

de este tema yo rescato los conceptos de relaciones entre los colores, su disposición y modelos de composición. a continuación veremos algunos modelos muy usados.

3.2.1. un solo hue

la primera relación importante es pensar en todos los colores que se pueden generar de un solo hue, es decir con un solo croma o color, todos los tonos que se puedan definir de este hue hacia el blanco, negro o hacia el gris. o lo que es lo mismo, todos los colores que pertenecen a su triángulo de matices.

en la figura se ven dos composiciones a partir de un solo hue. este tipo de composición se conoce a menudo como contraste cualitativo.



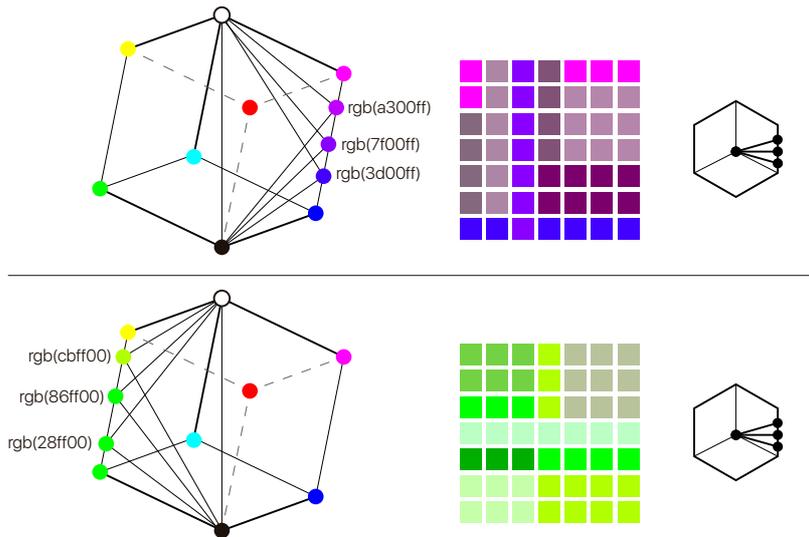
este tipo de composición es la más usada en infografía debido a su estabilidad, son fáciles de manejar y muy seguras.

el icono de la derecha describe el tipo de relación entre los colores y pretende representar el romboedro visto desde arriba y la posición de los colores que toman parte de la composición definida.

3.2.2. colores similares

la siguiente relación de colores son los colores similares o colores vecinos, simplemente se trata de un grupo de hues que están cerca unos de otros en el romboedro.

para hacer la composición se toma cualquier color perteneciente al triángulo de matices de cada hue y se forma la matriz.

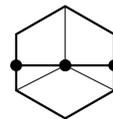
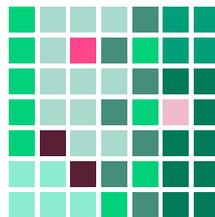
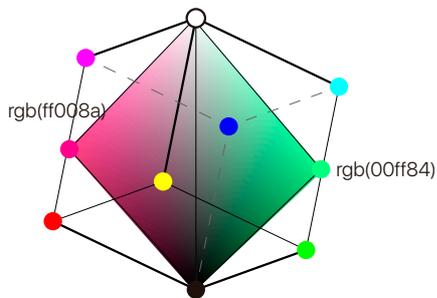
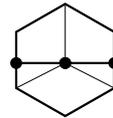
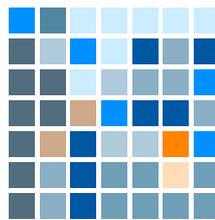
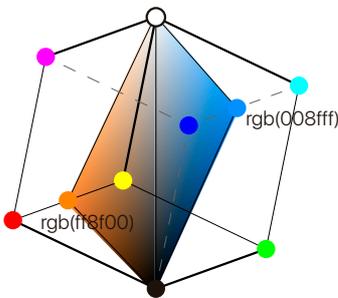


en la figura vemos dos tipos de composiciones cromáticas de este tipo, se trata de moverse pocos grados en el ecuador y tomar colores de los triángulos de matices relacionados.

3.2.3. colores complementarios

una composición muy conocida es la de los colores complementarios. en nuestro romboedro, un contraste de complementarios es una composición de un plano horizontal que corta el sólido pasando por el eje central. por supuesto, esto define dos de los triángulos coplanares de matices de los que se toman los colores que deseamos para la composición.

en la figura se aprecian dos ejemplos de este tipo de composición y como se ve, generalmente se usa un hue dominante con una gran masa y uno de acento o anomalía con un masa mucho menor, de esta forma la composición queda mucho más agradable y nos permite usarla fácilmente en las infografías con el objetivo de guiar la atención del lector.



3.3. leyes de composición de colores

para combinar colores generalmente se usan los tres modelos descritos anteriormente (3.2.1. un solo hue, 3.2.2. colores similares y 3.2.3. colores complementarios) o sus combinaciones. por ejemplo, el modelo de similares se mezcla a menudo con el de complementarios.

sin embargo la experiencia me ha enseñado que estos modelos no son suficientes. si se desea hacer combinaciones armónicas, hay un par de leyes que debemos observar.

nótese que estas leyes están diseñadas para generar composiciones seguras, los artistas y expertos pueden combinar colores maravillosamente rompiendo todas las reglas.

3.3.1. ley de ambigüedad cromática

esta ley parte del concepto de que en diseño no debe haber ambigüedad. en el caso de los colores, se trata de colores con hue, luminosidad o saturación muy parecida, este tipo de colores no se deben usar en una composición pues generan una sensación muy incómoda en el ojo.

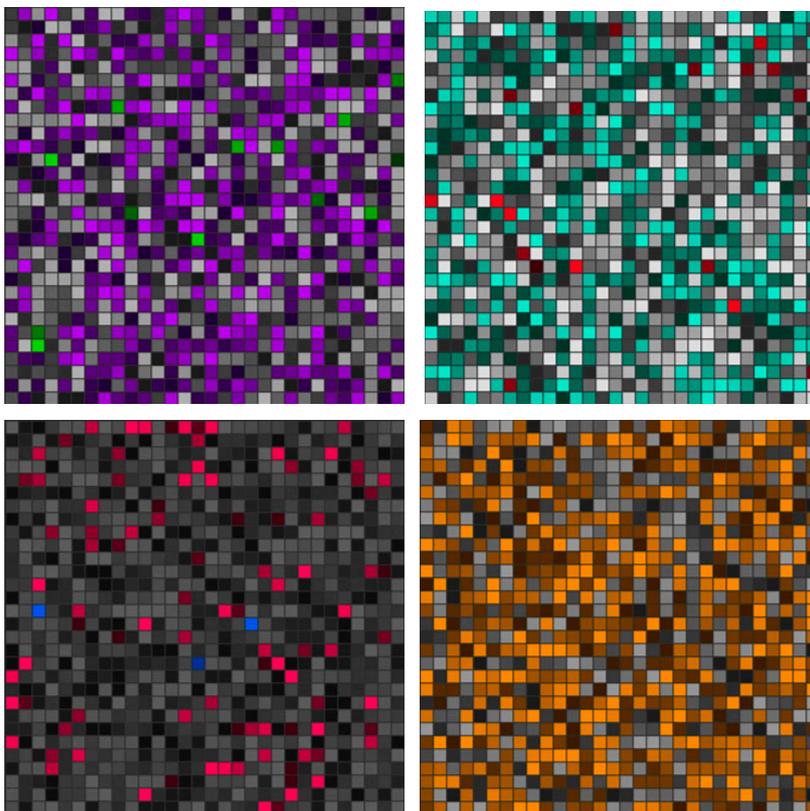
en la figura se ven tres ejemplos de este fenómeno y de los problemas que se generan en estas circunstancias. se producen sensaciones de reverberación, e incomodidad en el lector.



3.3.2. ley de la normalidad

toda composición armónica debe tener una zona de hue dominante. esta zona debe tener un alto porcentaje de la masa, hablamos de un 90% del área total cromada. puede ser que se desee tener otra zona de acento o anomalía, esta debe tener una masa relativa mucho menor, 10% o menos.

esto significa que un alto porcentaje de los colores involucrados deben tener un carácter cromático similar al dominante o uno neutro (es decir tonos de grises). el resto de la composición, puede tener otro hue, siempre que el modelo lo permita (obviamente el modelo "3.2.1. un solo hue" no lo permite).

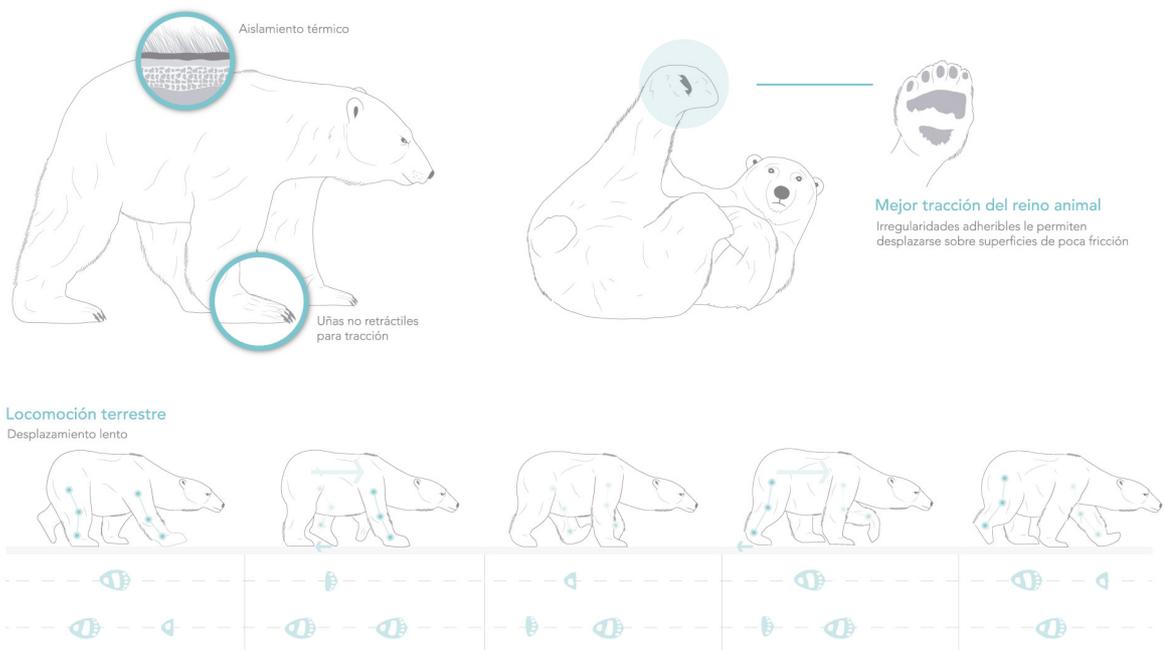


el uso de los acromáticos es libre, pues no influyen en el equilibrio del carácter de la composición y de hecho es aconsejable. en la figura de arriba se ven composiciones generadas automáticamente con este método.

3.4. composiciones en diseño de información

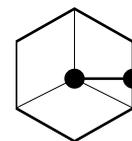
en una infografía o website lo aconsejable es usar este tipo de composiciones que hemos descrito. en este tipo de diseño siempre se trata de guiar la atención del usuario a ciertos lugares del diseño en primer lugar y después al resto. en estos casos el color es muy importante, pues es un elemento que atrae mucho la atención del lector y si no se usa con cuidado puede convertirse en un distractor.

OSO POLAR | URSUS MARITIMUS

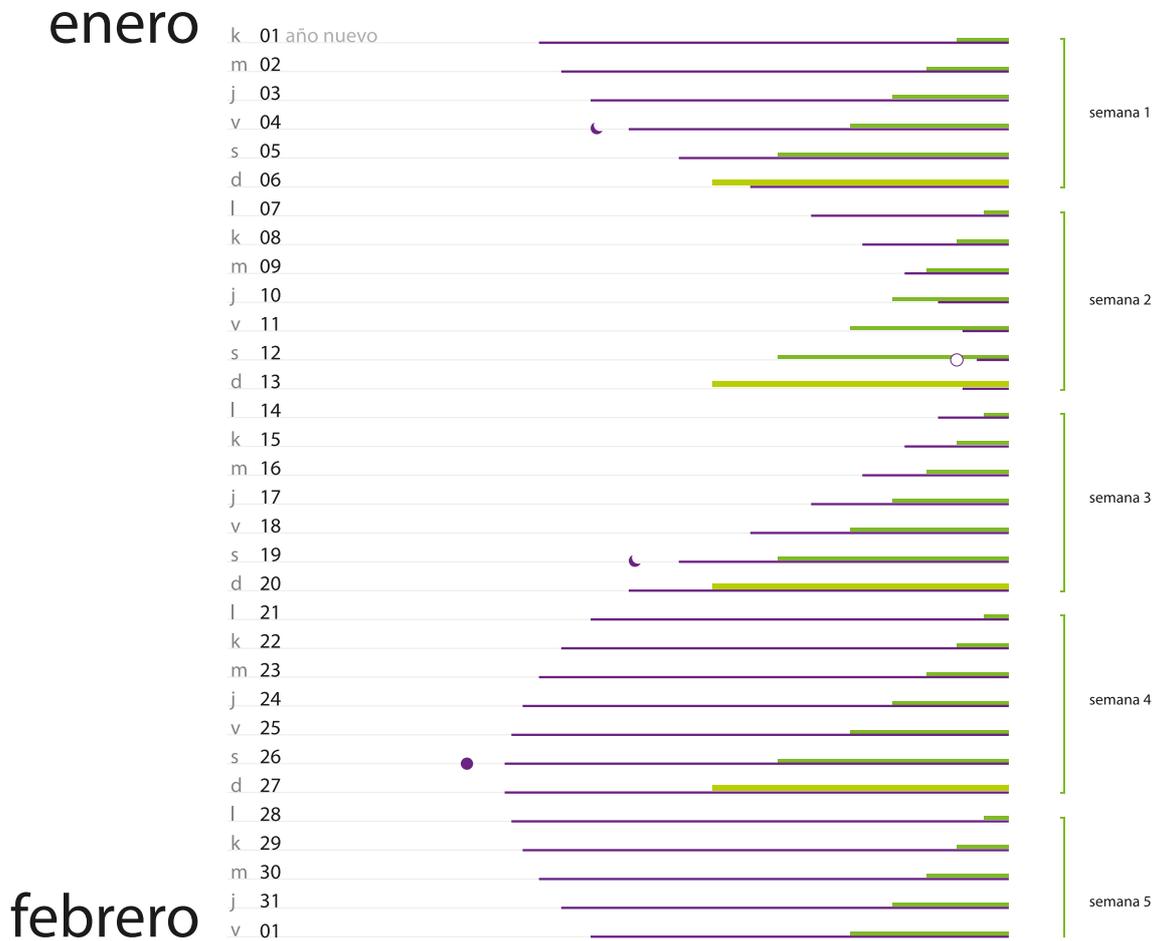


en la ilustración se ve una sección de una infografía donde se usa el modelo de un solo hue. como se ve, se mantiene una normalidad de grises o acromáticos y se guía la atención del lector con el color.

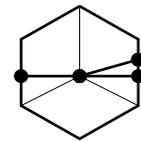
este es el mejor modo de usar el color, aprovechando su capacidad para llamar la atención y no abusando de él, de tal modo que ya nada llama la atención.



infografía del estudiante álvaro grant, tecnológico de costa rica, 1S-2014



en la sección del calendario de arriba se ve como se usa un modelo complementario para poder mostrar diferentes tipos de información. es una elección correcta debido a que la información del ciclo lunar y de los días de la semana son ambas informaciones con importancia parecida.

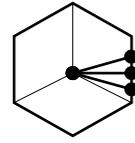


infografía de la estudiante nathalie howell, tecnológico de costa rica, 2S-2012

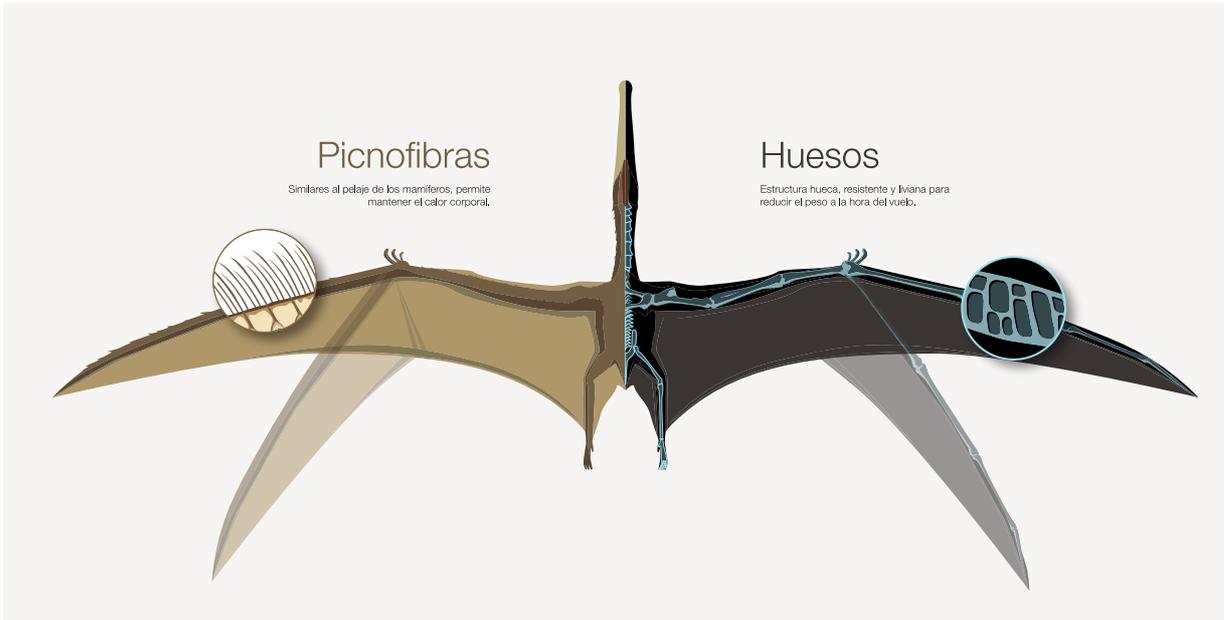
para balancear estas importancias el esquema de color usa un modelo complementario en que la normalidad son los acromáticos (o grises) y hay dos acentos cromáticos, el violeta para las fases de la luna y el verde con dos tonos similares para los días de la semana (entre semana y fin de semana).

en estos esquemas complejos es muy importante que los acentos se mantengan con muy baja masa cromática como en el ejemplo, de otro modo, la atención se dispersa y el lector ya no encuentra lo que se pretende que vea.

en este infográfico vemos un bello uso de una gama de similares que pasan por el vértice amarillo, hacia el rojo de un lado y hacia el verde del otro, de especial interés es el uso de baja saturación en toda la gama, obteniendo un balance que direcciona eficientemente la atención del usuario donde se desea.

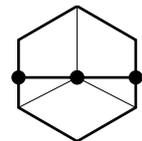


infografía del estudiante adrián gómez y allan salas, tecnológico de costa rica, 2S-2013

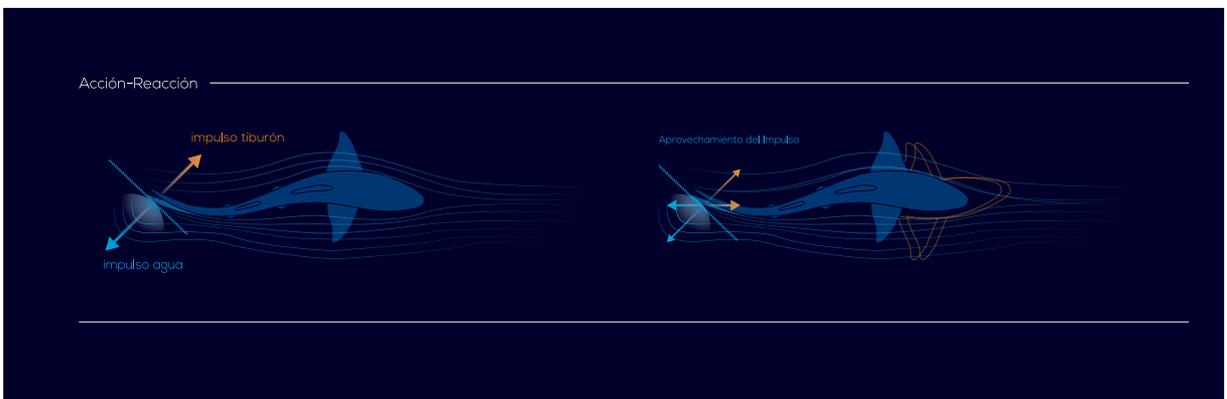


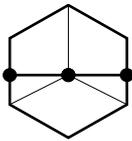
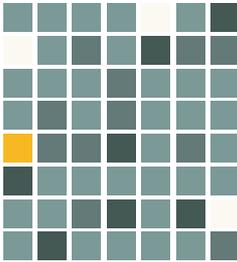
en el caso de esta infografía sobre el movimiento del tiburón, el modelo es complementario pero sin el uso de acromáticos.

la normalidad se da por el uso de los azules oscuros (con la idea de la profundidad del mar detrás) y los acentos con el anaranjado, lo que genera una jerarquía de lectura muy exitosa.

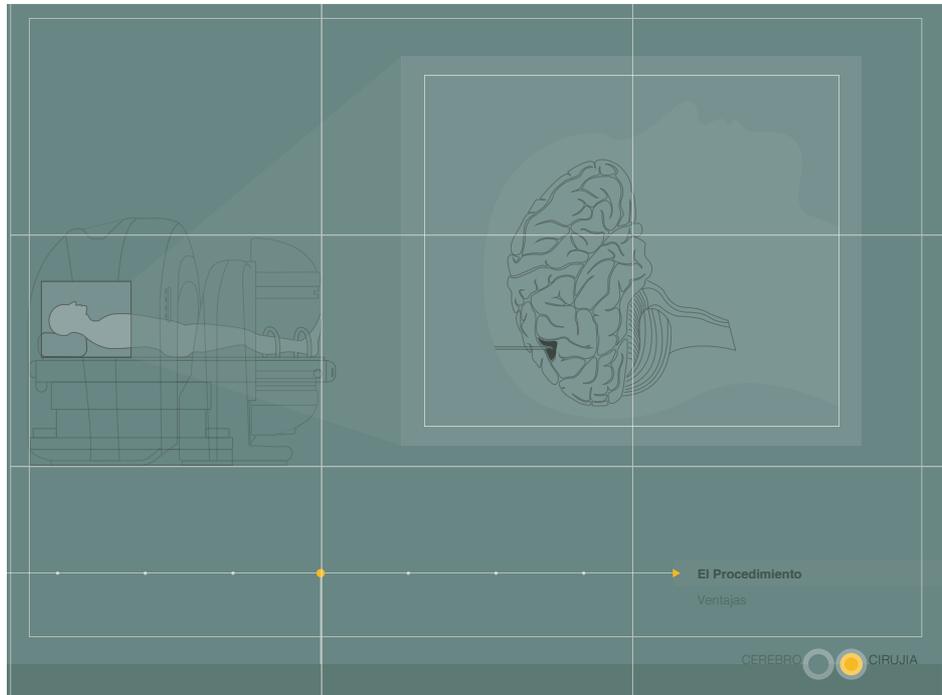


infografía de los estudiantes andrés gonzales y orlando gonzales, tecnológico de costa rica, 2S-2013



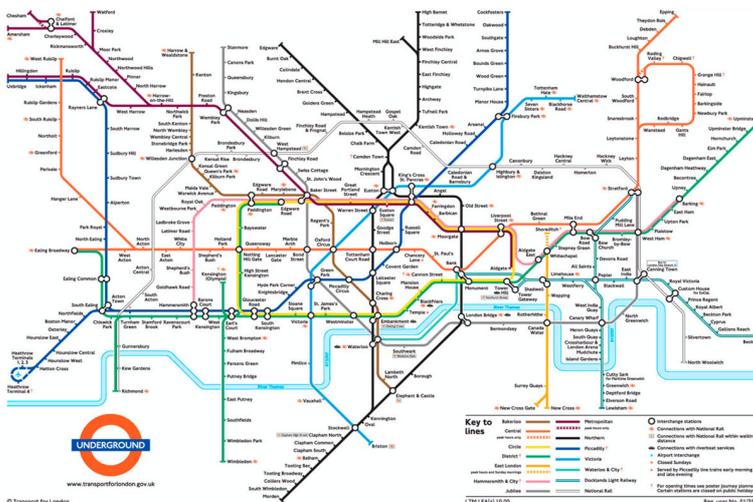


infografía de la
estudiante valeria
torres, tecnológico de
costa rica, 2S-2013



3.5. códigos cromáticos

a menudo nos enfrentamos con la idea de usar el color como código, es muy usual en los mapas, como por ejemplo en los subterráneos, como el de la ilustración de abajo.



el problema es que es difícil combinar colores cuando se trata de muchos hues distintos. esto es especialmente cierto en la

visualización de datos, donde los colores se generan automáticamente.

en estos casos hay un enfoque que puede ayudar mucho en la composición, un comentario detallado de este tema, se puede encontrar aquí.⁵

para este análisis usaremos el sistema hsb, pues resulta mucho más fácil combinar colores en este sistema que en el nativo rgb.

la idea es muy simple, se trata de restringir los rangos "hsb" y moverlos controladamente.

el primer enfoque sería restringir los valores de saturación y luminosidad, dejando libre la selección de valores en el hue.

por ejemplo, en la figura de abajo se ven dos composiciones cromáticas generadas con cualquier hue, pero con una luminosidad siempre alta y una saturación siempre baja.



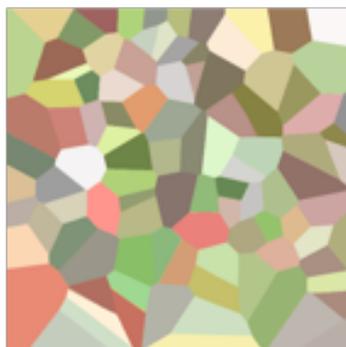
en el esquema de la derecha se ven los canales de HSB y se muestra en más negro los rangos en los que se pueden mover los colores.

así en esta composición el canal "h" se puede mover en todo el rango, mientras que el canal de saturación solo hasta la mitad y el canal de luminosidad solo de la mitad para arriba.

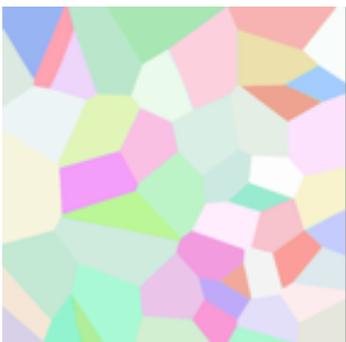
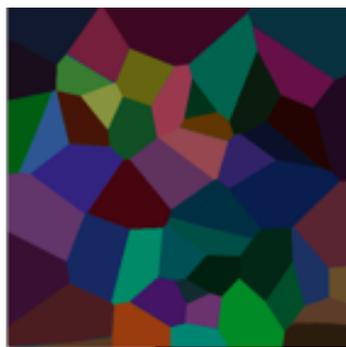
de este modo se generan colores que guardan una armonía entre ellos a pesar de sus muy diferentes hues, como se ve en las composiciones resultantes.

⁵ <http://skizata.com/combinando-colores.html>

del mismo modo es posible restringir el rango de hues para cerrar más la composición, como se ve en las figuras de abajo.



y cambiando el esquema es posible obtener diferentes enfoques semánticos con la misma estrategia. como en los ejemplos a continuación.



13. References

Kueppers, H. (1980-2002). **Fundamentos de la teoría de los colores**. Ediciones Gustavo Pili, S.A. Barcelona.

Itten, J. (1961-1994). **El arte del color**, Editorial Limusa, México.

Hernández-Castro, F. (2008). **El error de Le Corbusier**. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Hernández-Castro, F. (1995). **Estética Artificial**. Editorial MithOz. San José, Costa Rica.