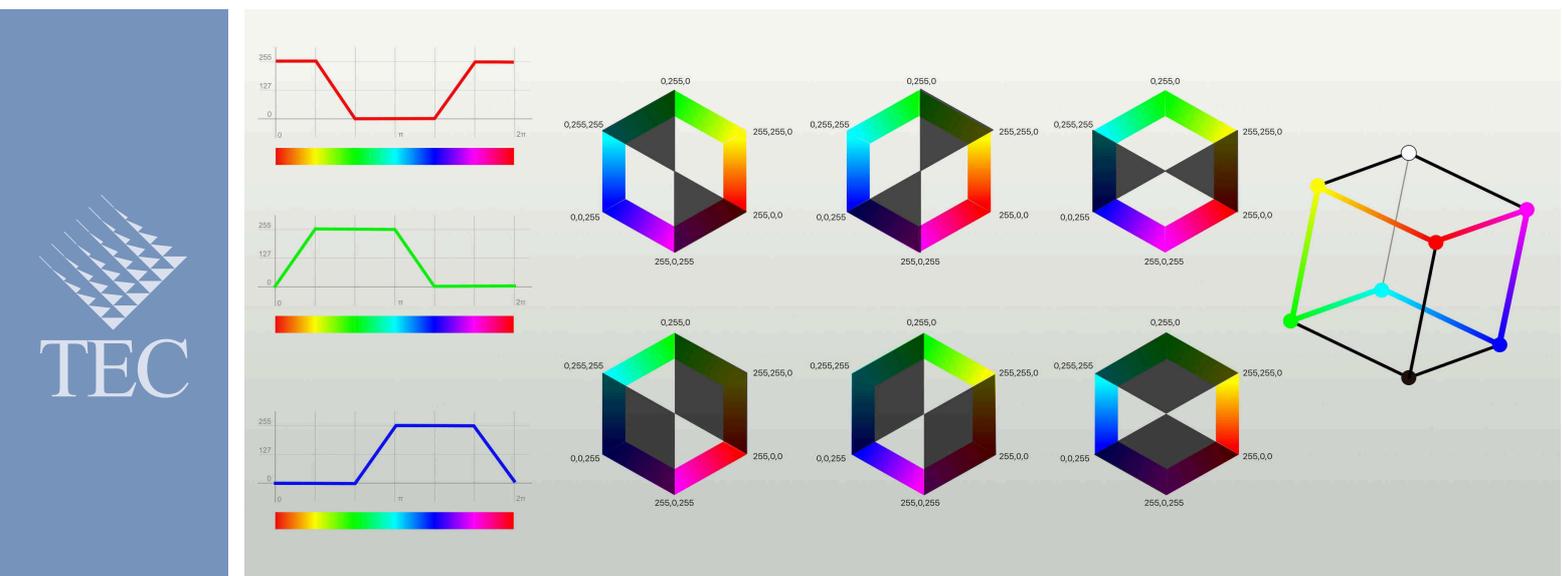


cooking skills: diseñando escalas cromáticas por código

ph.d. franklin hernández-castro.

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

1era edición: enero 2019



como citar este trabajo:

Hernández-Castro, F. (2019). **cooking skills:
diseñando escalas cromáticas por código**. Escuela de Diseño
Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

resumen

este documento resume los aspectos más importantes a tomar en cuenta cuando se programan escalas cromáticas en visualización de datos. es decir, en los casos en que hay que definir una escala cromática para visualizar datos en función de alguno de sus atributos.

por ejemplo, casos como si se desea hacer una visualización de las poblaciones de los países y se quiere poner los más poblados en tonos de rojo intenso y los menos poblados en tonos amarillos. para estos casos se explican los factores involucrados y cómo se programan para obtener los resultados deseados.

no hablo de ningún lenguaje de programación en particular, sino más bien, de esos factores que definen el color y cómo se controlan para diseñar estas escalas de modo funcional y agradable.

índice

escalas de color	3
1. el problema	3
2. la semántica	4
3. el orden del color	5
3.1. el romboedro de küppers	5
3.1.1 interior del romboedro	6
3.1 escalas continuas entre dos vértices adyacentes	9
3.2 escalas continuas entre tres vértices	9
3.3 distribución de los datos	11
4. escalas discontinúas	11
5. escalas monocromáticas	14
6. colores para mapas	15
7. References	16

escalas de color

"el pintor no debe pintar lo que ve, sino lo que será visto."

paul klee

1. el problema

cuando se visualizan datos, el diseñador a menudo se encuentra con la necesidad de mostrar una **escala de colores** que muestre una **escala de "magnitudes"** de los datos.

en la figura adjunta, por ejemplo, se muestra una capa de velocidades de viento sobre costa rica, donde las velocidades más altas son mostradas en tonos rojos, las intermedias en anaranjados y las velocidades más bajas en verdes. el color en este caso refuerza el tamaño de las flechas que ya de por sí está codificado en función de este mismo atributo.

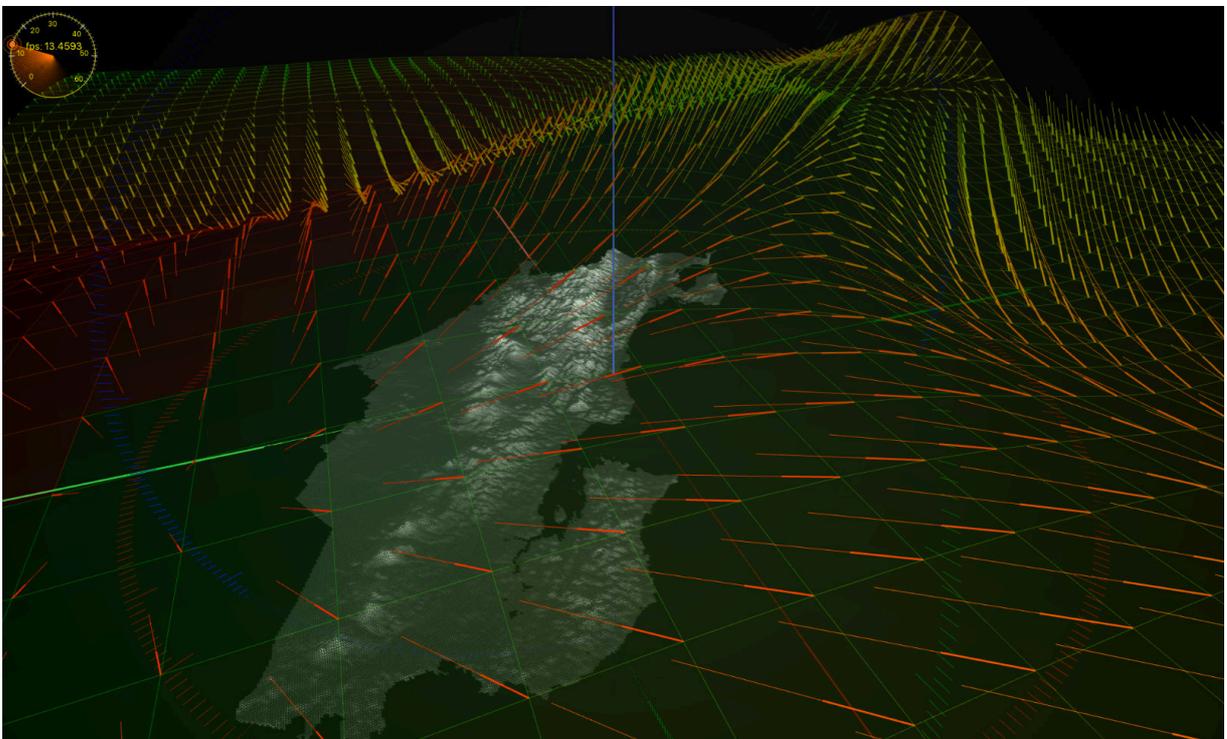


figura 1. escala cromática mostrando velocidades de vientos sobre costa rica, los valores más extremos en rojo y los más suaves en verde. (proyecto skyGraph, grupo iReal, tecnológico de costa rica: <http://skizata.com/skygraph.html>).

2. la semántica

estos casos, como el de la figura 1, son los más comunes. para ellos se usa una escala que tenga una **significación semántica**.

la clásica es la mostrada en ese caso, **la escala del semáforo**, donde los **valores extremos** (peligrosos, excepcionales, al final de la escala) son mostrados en **rojos**, y los **valores más bajos** (suaves, menos peligrosos, normales) son mostrados en **verdes**.

obviamente el uso de esta escala se debe a la relación del color con la **programación genética** [1]¹, es decir, el rojo se asocia con sangre, fuego, calor, peligro, mientras que el verde se asocia con naturaleza, tranquilidad, salud, alimentación sana, etc.

por eso, esta es la escala más usada para visualizar los atributos de los datos, sin embargo, **no siempre es posible y a veces no es la mejor**. imaginemos el caso de que los especialistas en algún tema ya tienen una escala definida.

por ejemplo, en esta misma visualización de la figura 1 esa escala **no sirvió**, pues en este caso era muy importante diferenciar si el **viento sube o baja**, es decir, si la componente en **z** es positiva o negativa, pues si el viento sube hay mal tiempo y si baja hay buen tiempo.

así que no era adecuado para el **dominio** (los futuros usuarios del sistema, generalmente científicos) que fuera una sola escala, sino más bien dos y por eso la escala mostrada no era la adecuada.

así que la decisión de cuál escala usar, pasa por supuesto por la **semántica**, pero también pasa por las **convenciones** que usa el dominio y por las **necesidades técnicas** de la visualización.

¹ si se desea profundizar sobre este tema una explicación amplia se encuentra en mi libro *estética artificial*.

3. el orden del color

antes de poder programar escalas de color tenemos que entender algunos **conceptos básicos** sobre el **color** en sí mismo. en este apartado resumo conceptos que fueron analizados con más detenimientos anteriormente en [2].

como nuestro **énfasis** es **digital**, vamos a usar el modelo romboédrico de küppers [3] que se adapta muy bien al los manejos de color aditivos.

3.1. 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. los colores representados por cada **vértice se mezclan** conforme se avanza por las **aristas**.

el **vértice inferior** del romboedro es el color **negro**, es decir, los canales RGB todos están apagados o en cero; y el **vértice superior** del cubo es el color **blanco**, es decir, todos los canales están encendidos en su máxima capacidad, en 255 si es decimal o FF si trabajamos en hexadecimal. ver figura 2.

del vértice inferior (hacia arriba) salen **tres aristas** hacia los colores en los que **un canal tiene la máxima intensidad** y los otros dos canales tienen cero o están apagados.

al llegar a estos vértices en **el primer nivel** (de tres de abajo para arriba), nos encontramos con que en cada vértice, como se dijo, hay un canal a máxima intensidad y los otros apagados. esta situación define 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** (RGB).

a partir de estos tres colores se continúa subiendo por las aristas de sólido, hacia los otros tres vértices en el **segundo nivel**. cada uno de estos nuevos vértices combinan los colores primarios en parejas, o sea, **dos canales al máximo y el tercero apagado**. de esta forma se generan los colores **secundarios aditivos: magenta, cian y amarillo**. como se ve en la figura, cada uno de 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 sólido, donde los **tres canales están al máximo** y por lo tanto el color es **blanco**.

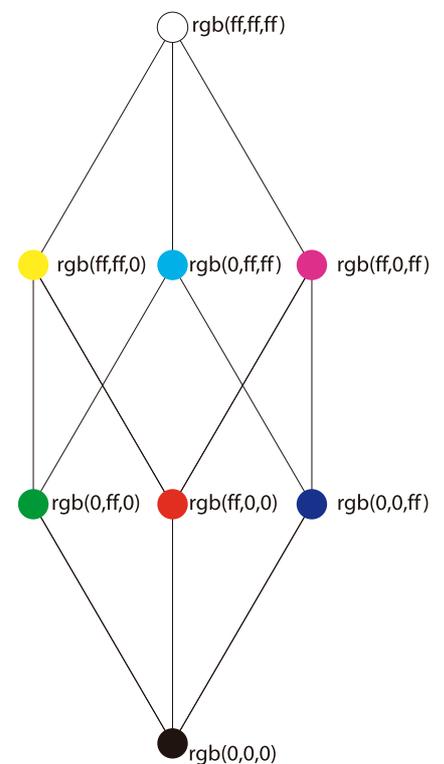


figura 2. romboedro de küppers mostrando los colores primarios y secundarios del sistema aditivo.

el resultado es un ordenamiento de los colores en la superficie del romboedro, donde se encuentran todas las posibles combinaciones de colores con 100% de saturación. ver figura 3.

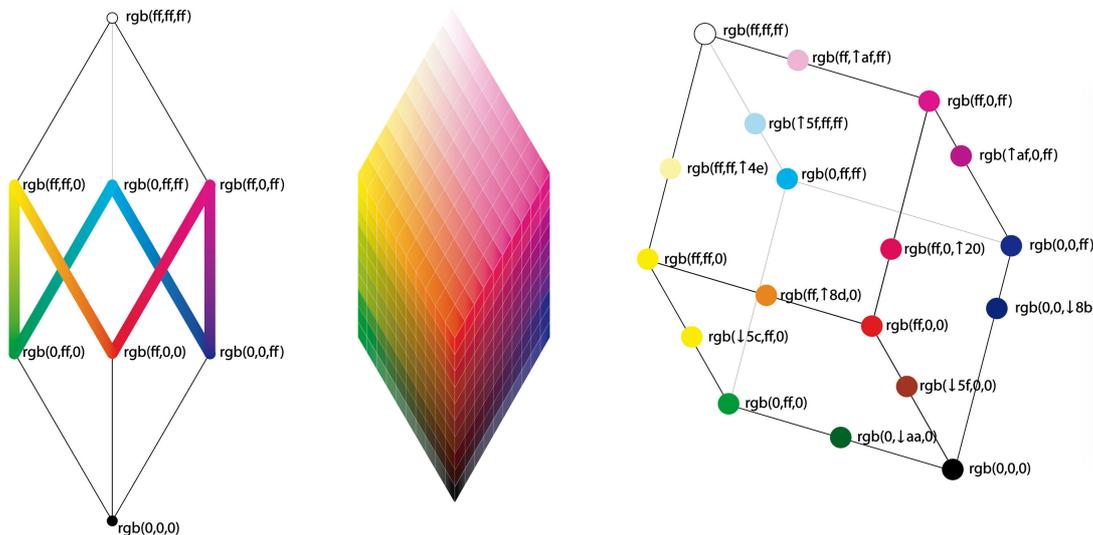


figura 3. combinación de colores a través del ecuador de küppers así como en los vértices, aristas y superficies del sólido.

como se ve, este ordenamiento nos permite entender como los **colores se van mezclando** conforme se **combinan los valores de los canales RGB**, y a partir de ahí controlamos las escalas.

3.1.1 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 al interior del cuerpo, aquí se encuentran todos los grises puros, pues están entre el blanco y el negro.

ahora, para ir entendiendo la distribución, pensemos en la línea **"del ecuador"** como se muestra en la parte "a" de la figura 4.

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

ahora veamos el interior del sólido, si **construimos un triángulo** a partir de cada uno de estos tres vértices/colores, con un vértice en el **polo norte**, otro en el **polo sur**, y el tercero en algún punto de la línea del **ecuador** (como se ve en las partes "b" y "c" de la figura 4) se obtienen todos los colores asociados a este matiz (hue/carácter).

a estos triángulos se les conoce como los **triángulos de matices**.

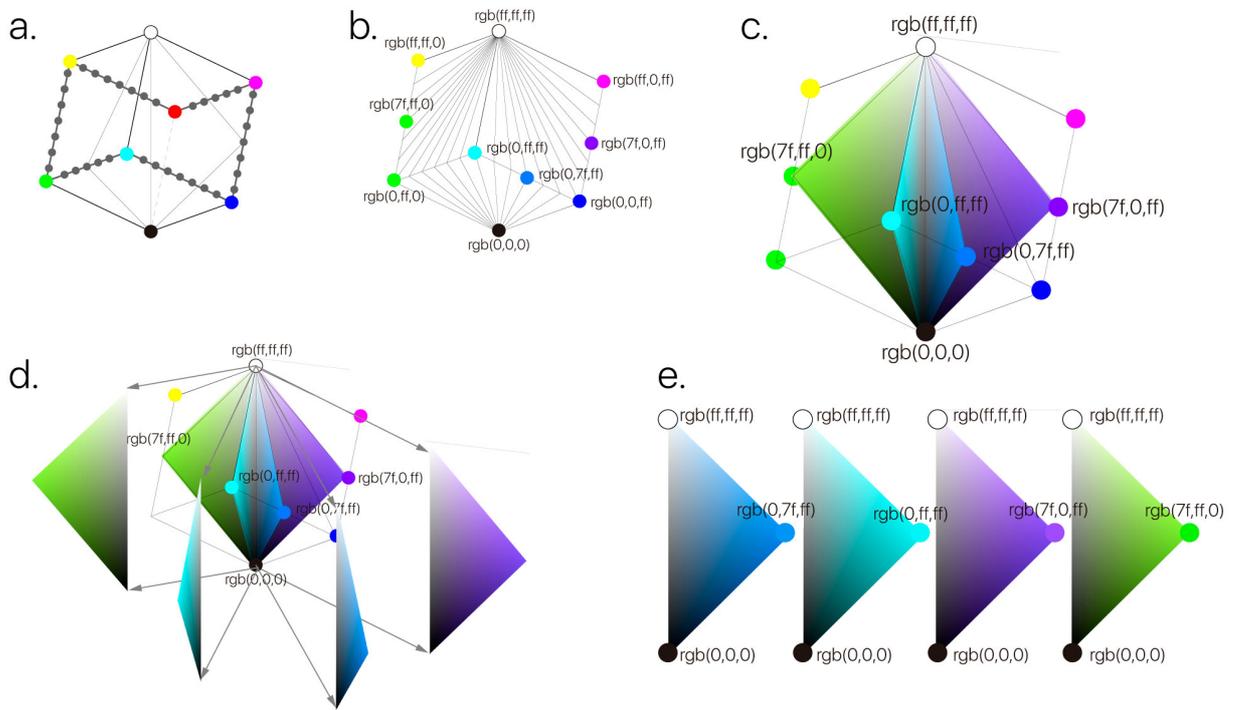


figura 4. ordenamiento de los colores al interior del romboedro de küppers

estos triángulos de matrices contienen **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 5.

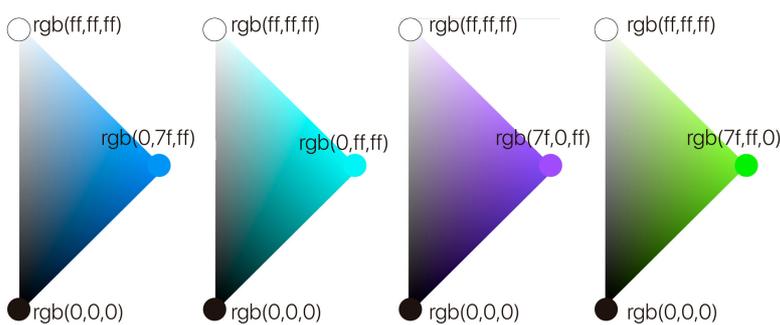


figura 5. ejemplos de triángulos de matrices con la totalidad de colores en sus saturaciones y luminosidades asociadas a un solo hue (matiz o carácter)

además, este ordenamiento en el sólido de küppers, a diferencia del círculo cromático tradicional, es coherente con las **luminosidades de cada canal**. los colores secundarios como el amarillo, el cian y el magenta, **son más luminosos** que los colores primarios rojo, azul y verde, consecuentemente los **colores secundarios están más cerca del polo blanco** y los **primarios más cerca del polo negro**, esto se debe a que los

colores primarios solo tienen un canal encendido, mientras que los colores secundarios cuentan con dos canales a su máxima intensidad.

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

3. escalas continuas

volviendo a nuestro problema, este trata de generar, través de código, **una escala de colores** que se vea como **una continuidad** y que se pueda interpretar de modo semántico, por ejemplo, en un eje caliente-frío.

empecemos entendiendo **cómo se comportan los canales RGB en el "ecuador" de küppers**. en la figura 6 vemos como van cambiando los colores a través del ecuador.

estos colores, de máxima saturación, son los **más comúnmente usados** en las escalas cromáticas graduales, por eso vale la pena que veamos este comportamiento con mayor detalle. la figura 7 muestra el **comportamiento de los tres canales (RGB)** en los **2π radianes del ecuador**.

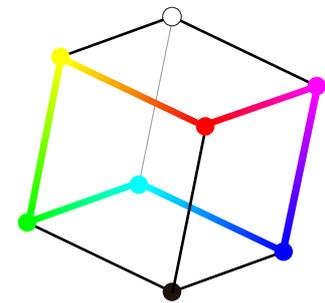


figura 6. distribución de colores en el ecuador de küppers

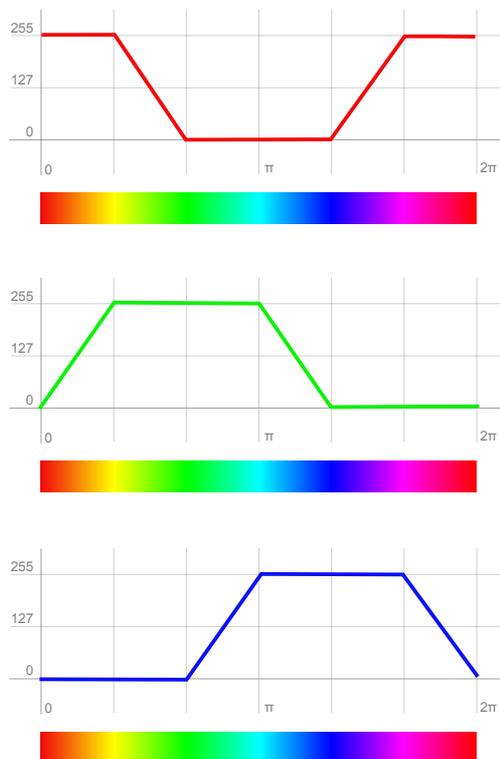


figura 7. comportamiento de los canales RGB en el ecuador de küppers

como una convención, la **escala siempre empieza** y termina en el vértice **rojo (ff,0,0)** y se desplaza hacia el amarillo (ff,ff,0).

la figura 8 muestra el **comportamiento de los tres canales** al mismo tiempo. en la parte superior de la figura se encuentran los valores RGB en cada vértice.

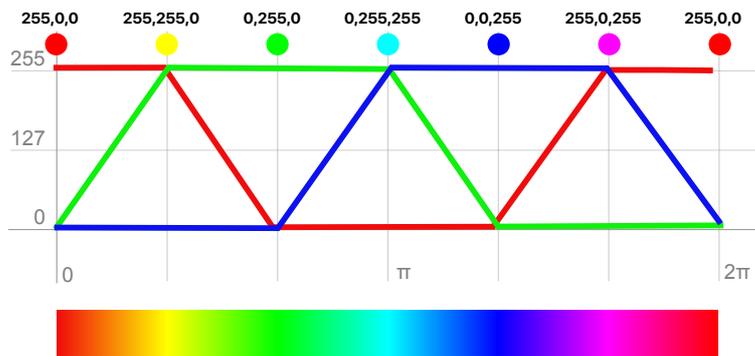


figura 8. comportamiento de los tres canales RGB alrededor del ecuador.

3.1 escalas continuas entre dos vértices adyacentes

con esto claro no es difícil deducir **cómo se mueven los canales entre dos vértices adyacentes**. por ejemplo, en la primera arista codifica una escala usada comúnmente, entre rojo y amarillo.

en la figura 9 vemos como en este rango de la escala **solo cambia el canal verde**, manteniendo el canal rojo en ff (255) y el canal azul en cero.

es decir, si queremos hacer que los atributos de una visualización se muevan entre rojo y amarillo, lo único que tenemos que hacer **es mantener el canal azul en cero, el canal rojo en 255 (ff) y hacer que el canal verde se "mapee"** (se haga corresponder) según en atributo del dato **en el ámbito [0-255]**.

si el ámbito del dato es [-2, 5] (por ejemplo magnitudes de huracanes) pues se hace corresponde el canal verde entre los **ámbitos [-2, 5] con [0-255]**.

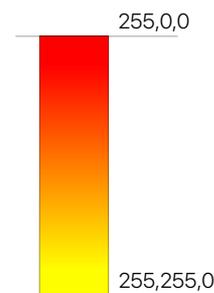


figura 9. cambio del **canal verde** entre los colores rojo y amarillo.

3.2 escalas continuas entre tres vértices

sin embargo, la **escala más común es la verde-rojo (la escala semáforo)**, que pasa por el amarillo (o los anaranjados), o sea, deberíamos decir la escala verde-amarillo-rojo. esta es una escala que pasa por tres vértices y por lo tanto su tratamiento es algo distinto al anterior caso con solo dos vértices.

en cada arista del romboedro dos canales se mantienen iguales y un tercero varía, no obstante, entre tres vértices el canal **que cambia no es el mismo**.

en el caso de rojo-amarillo, como vimos en el apartado anterior, cambia el canal verde, pero en el caso de la arista amarillo-verde,

cambia el canal rojo, manteniéndose en ambos casos el canal azul en cero. ver figura 10.

así que para poder definir esta escala en forma algorítmica debemos primero, **partir los datos** en dos mitades. bueno si son mitades o no pues depende de como están distribuidos los datos, es decir, si queremos que los colores se distribuyan homogéneamente en todo el rango del atributo de los datos.

el asunto es que si, por ejemplo queremos **“repartir huracanes”** de verde a rojo, primero vemos el rango (o ámbito) de los huracanes.

en este caso los huracanes tienen una clasificación de [-2, 5], dónde -2 es una pequeña tormenta tropical y 5 el tipo de huracán más poderoso registrado. en la interpretación más simple **partimos el rango en dos mitades iguales** [-2, 1.5] y [1.5, 5].

cada uno de estos dos casos se debe ver por aparte, pues son distintos. el **caso [-2, 1.5]** corresponde a la escala verde-amarillo, en la que el canal azul siempre es 0, el canal verde siempre es 255 y **el canal rojo varía entre [0, 255]**, en ese orden.

la otra mitad **[1.5, 5]**, por su parte, corresponde a la escala amarillo-rojo, donde el canal rojo siempre es 255, el canal azul es cero, y **el verde varía entre [255, 0]**, en ese orden.

en pseudo código se vería más o menos así:

```
if (magnitudDeHuracan < 1.5)
  canal rojo = mapea [-2, 1.5] -> [0, 255];
  canal verde = FF;
  canal azul = 0;
else
  canal rojo = 255;
  canal verde = mapea [-2, 1.5] -> [255, 0];
  canal azul = 0;
en if
```

como resulta obvio, este patrón se puede usar para definir **escalas a través de tantos vértices como se desee**, obviamente partiendo los datos en los segmentos correspondientes. la figura uno muestra el resultado del uso de esta estrategia.

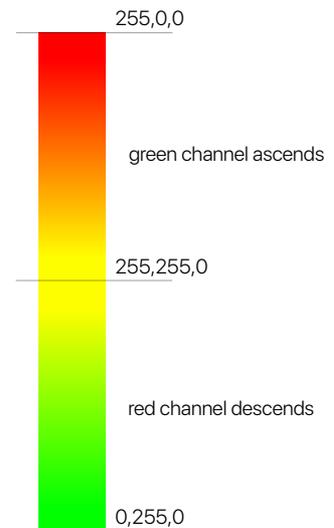


figura 10. cambio del canales entre los colores rojo y verde.

3.3 distribución de los datos

como se muestra en la figura 11, **dependiendo de la distribución** de los datos (o más bien de su varianza), se puede recurrir a visualizar **más grandes los datos con menor frecuencia**.

en la figura 11, los terremotos de mayor intensidad son mínimos (menos de 10) así que aunque sean rojos se despliegan en un tamaño mucho mayor que los demás (más de 140,000).

esta es una **decisión del dominio** más que del visualizador, es decir, a veces se quiere que se actúe como aquí, conservando la distribución de los datos tal como es en la realidad; otras veces se desea **estandarizar los datos**, lo que a menudo se hace pasando los datos a su "**z-score**" o sea estandarizando la distancia entre ellos, pero es un tema más del **data cleaning** que de la visualización. así que lo veremos en otro documento.

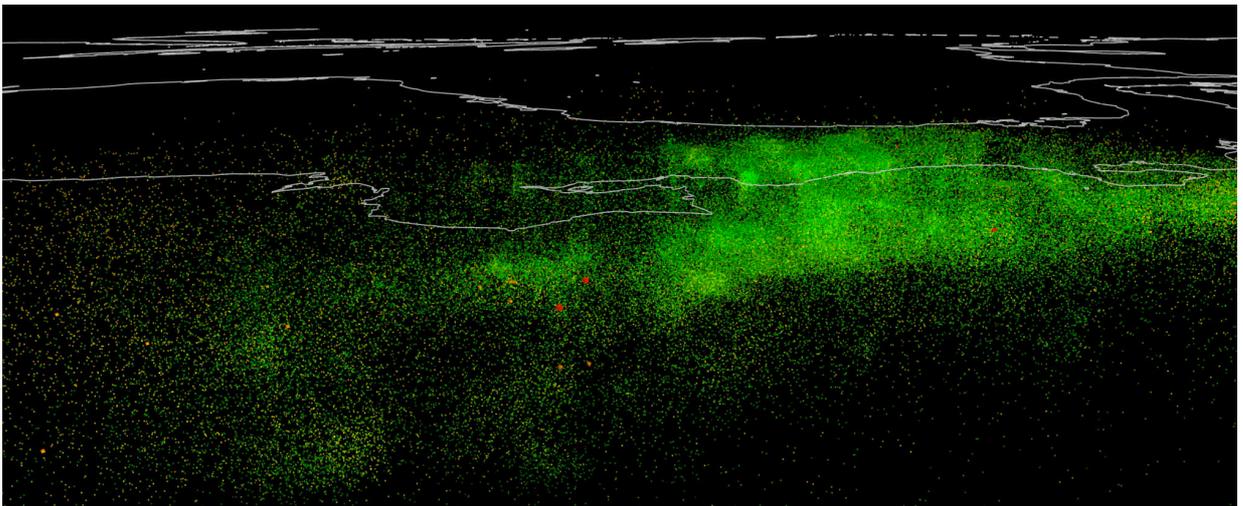


figura 11. visualización mostrando más de 140.000 hipocentros en una escala de doble arista del tipo semáforo (proyecto plinius, grupo iReal, tecnológico de costa rica: <http://skizata.com/iREAL-3.0.html>)

4. escalas discontinúas

como comentamos anteriormente, a veces las escalas cromáticas deben de ser **discontinuas** por alguna razón del **dominio**. a menudo se debe a que los datos representan resultados completamente distintos si están en un rango de la escala o en otro rango.

como comentaba al inicio de este documento, en el caso de los vientos, por ejemplo, la componente **z** es muy importante pues representa un cambio muy significativo en el resultado: buen tiempo o mal tiempo.

así que a veces se deben usar **dos escalas al mismo tiempo**, ya sea para separar los datos o para mostrar dos tipos de datos simultáneamente; imaginemos un gráfico con dos secuencias donde se ve la escolaridad y la cantidad de hijos de una misma población en la misma década.

para estos casos se deben de escoger **dos secciones del ecuador de küppers que no sean adyacentes**, mejor aun que estén bien separadas, esto con el fin de no confundir las escalas en el gráfico.

lo primero es definir el rango cromático de la escala, es decir como hemos visto una escala puede recorrer **una arista** en el caso más simple, o **dos o tres aristas** según se desee. empecemos por el caso de una sola arista por escala.

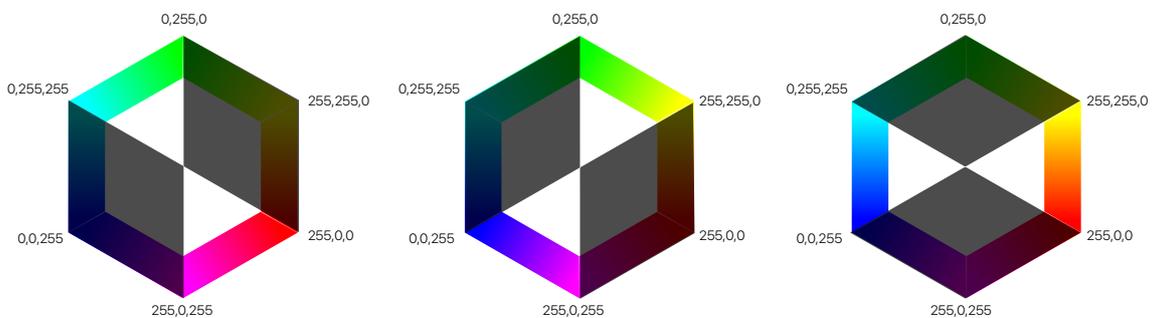


figura 12. posibilidades de selección de dos escalas cromáticas continuas y simultáneas con una sola arista o dos vértices.

la figura muestra el **ecuador de küppers** dividido en **dos escalas** continuas, mostrando las posibles selecciones de dos escalas **con una sola arista (dos vértices)**. como se ve en la figura, las escalas son muy distintas y serían fáciles de diferenciar. o sea, solo bastaría con escoger las escalas que se desean usar y definir los movimientos de los canales RGB en ellas.

en el caso de querer **dos arista consecutivas** en la misma escala y además querer **dos escalas distintas** (generalmente porque son dos tipos de atributos) no es posible separar las escalas por más de una arista, pues se toparán en el otro extremo.

la figura 13 muestra las **posibilidades simétricas**. las **posibilidades asimétricas no se aconsejan** pues las escalas se toparán en un extremo y eso podría causar confusión a la hora de leer los datos.

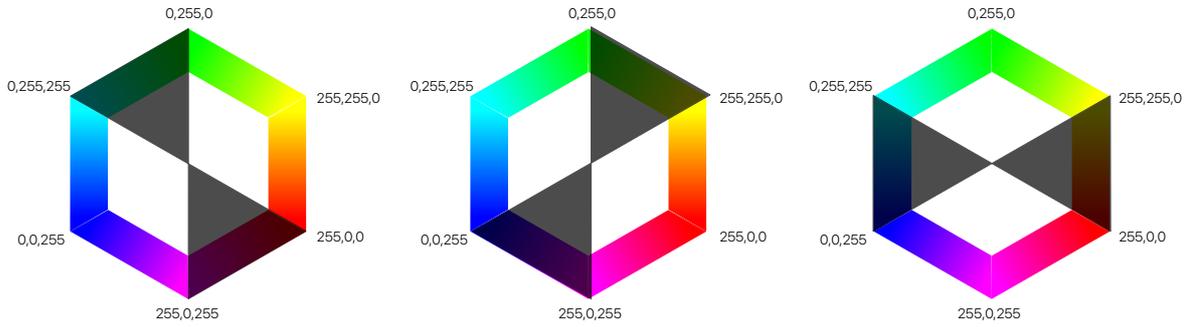


figura 13. posibilidades de selección de dos escalas cromáticas continuas y simultáneas con una dos aristas y tres vértices.

un ejemplo de la implementación de dos escalas cromáticas se utilizó para el caso ya comentado de los vientos, donde se necesitaba una escala para los ascendentes y otra para los descendentes.

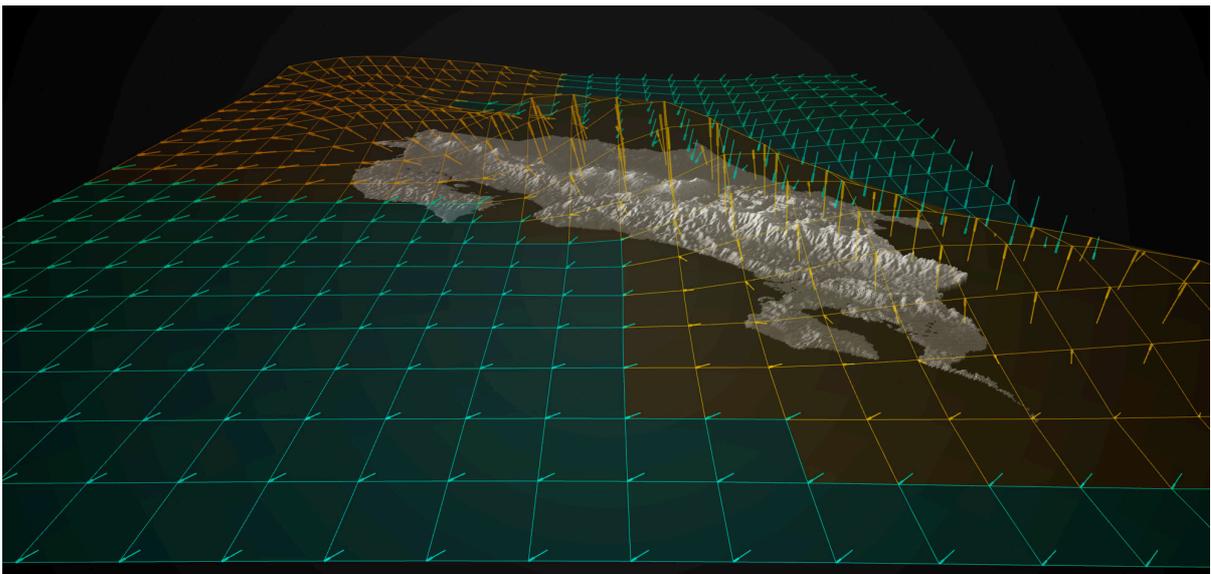


figura 14. uso de dos escalas cromáticas en un caso real, una para vientos ascendentes y otra para vientos descendentes.

5. escalas monocromáticas

también es posible usar **un solo color² (croma, hue) cambiando su intensidad**, por ejemplo, sería posible **solo** usar el canal rojo para mostrar intensidad en un atributo en los datos.

técnicamente es muy fácil, se trata de dejar los canales **verde y azul en cero** y **"mapear" el canal rojo** según la intensidad.

la figura 15 muestra esta técnica en un mapa de costa rica, correlacionando la intensidad de los movimientos tectónicos en cada pixel (1 por cada kilómetro cuadrado). aquí los movimientos de mayor intensidad corresponden a los rojos más luminosos y los de menor intensidad a los rojos más oscuros.

en este caso (por necesidades del dominio) la codificación se acompaña de flechas que muestran las direcciones de los movimientos. la longitud de las flechas también está correlacionada con la intensidad del movimiento, y por lo tanto, con el tono de rojo que se usa en la geografía. ver figura 15.

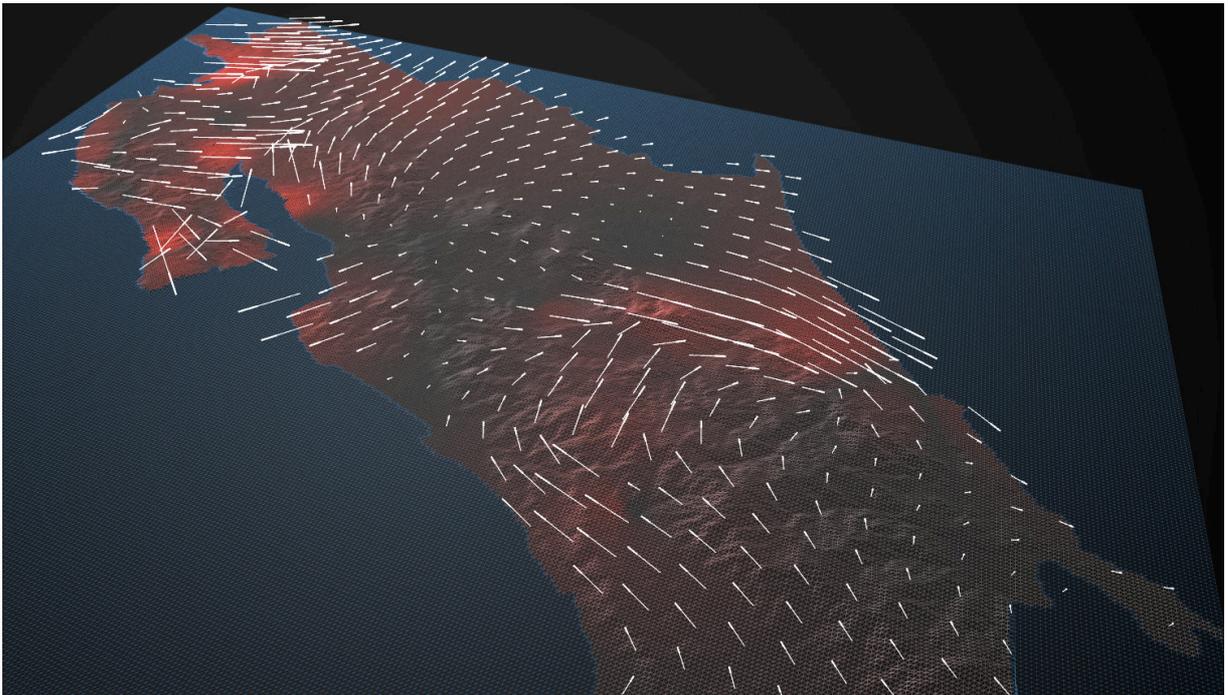


figura 15. visualización de los movimientos tectónicos de costa rica acumulados durante una semana específica usando una escala monocromática.

² nótese que para los diseñadores los colores están definidos por su matiz, o su posición en el ecuador de küppers, las otras son variantes de ese color en saturación o luminosidad, es decir latitud o profundidad en el sólido. además los grises, el blanco y el negro no son colores, son acromáticos. este es el modo profesional de tratar con el color y, como se ve en este documento, es perfectamente coherente con el comportamiento de los canales RGB y el comportamiento de la luz misma.

6. colores para mapas

como se ha dicho, los colores que se definen en el **ecuador de küppers** son colores de **alta saturación**, en términos técnicos se diría que **uno de los canales siempre es cero**.

esto sirve para escalas cromáticas como las vistas aquí pero no para colorear áreas, por ejemplo en un **choropleth** (el problema típico **NP** de colorear los “países de un mapa”).

en estos casos es mejor usar **colores menos saturados** para lograr efectos menos molestos a nivel perceptual, en este tema hay una explicación detallada de ese método en: (<http://skizata.com/combinando-colores.html>).

por supuesto la idea de estas visualizaciones es otra, el uso del color es principalmente para **separar áreas, no hay una escala definida cromáticamente**.

en la figura 16 se muestra un ejemplo realizado por dos estudiantes de maestría (otto barca y beryn alvarado) en mi curso de visualización de datos para Intel, donde se visualizan interacciones (en forma de correos electrónicos) en una corporación. los “países” son personas y su cercanía con otros depende de que tan a menudo se habían comunicado en un rango de tiempo específico.

en este caso los colores, como en un típico mapa, solo se usan para separar visualmente los “países” o personas sin ninguna intención de mostrar otros atributos.

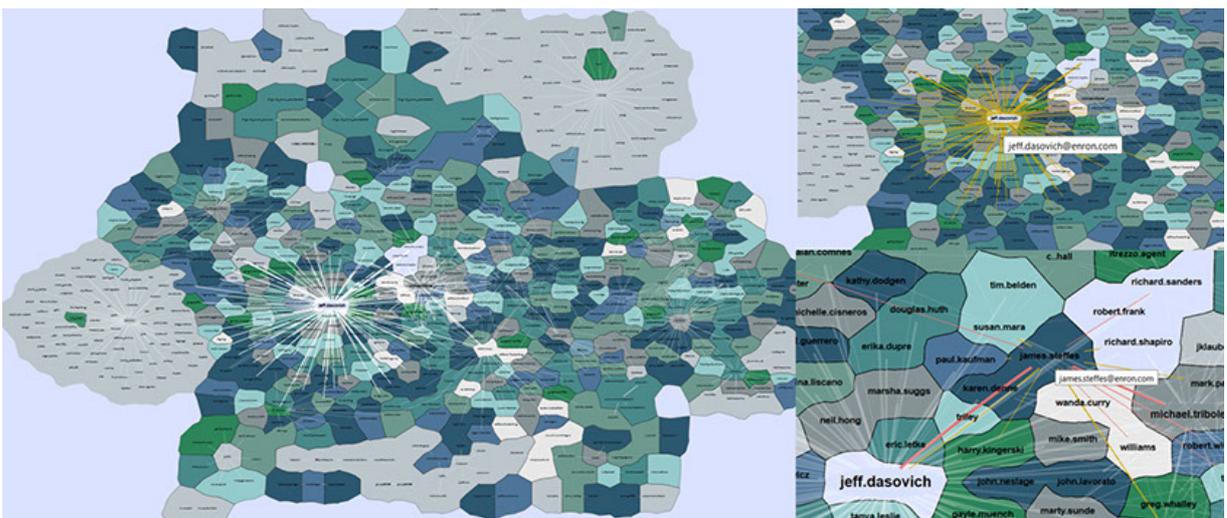


figura 16. choropleth (otto barca y beryn alvarado) usando la técnica “combinando colores desde código” disponible en (<http://skizata.com/combinando-colores.html>)

7. References

- [1] Hernández-Castro, F. (1995). *Estética Artificial*. Editorial MithOz. San José, Costa Rica.
- [2] Hernández-Castro, F. (2016). *Teoría del Color (Ingredients)*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Repositorio TEC: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/7314>
- [3] Kueppers, H. (1980-2002). **Fundamentos de la teoría de los colores**. Ediciones Gustavo Pili, S.A. Barcelona.