

# Por qué usamos mapas de colores defectuosos y qué puede hacer al respecto

Kenneth Moreland; Laboratorios Nacionales Sandia; Albuquerque, Nuevo México, EE. UU.

## Resumen

Sabemos que el mapa de colores del arcoíris es terrible, y la comunidad de visualizadores lo denigra enfáticamente, pero su uso persiste. ¿Por qué seguimos usando esta codificación perceptual con tantos defectos conocidos? En lugar de centrarse en por qué no debemos usar los colores del arcoíris, esta declaración de posición explora la razón por la que elegimos estos colores a pesar de sus defectos.

A menudo, la decisión está influenciada por la falta de conocimiento, pero incluso los expertos que saben mejor a veces eligen mal. Un problema mayor es la conveniencia en la que inadvertidamente hemos convertido el mapa de colores del arco iris. Saber por qué se usa el mapa de colores del arcoíris nos ayudará a alejarnos de él. La educación es buena, pero claramente no es suficiente. Ganamos tracción al hacer que las alternativas de colores sensibles sean más convenientes. No es factible forzar un mapa de colores a los usuarios.

Nuestro objetivo es suplantarlo como estándar común, y encontraremos que incluso aquellos casados con él migrarán fuera.

## Introducción Una

técnica omnipresente en la visualización científica llamada pseudocoloración consiste en aplicar colores que varían en función de alguna variable numérica a un objeto. La pseudocoloración requiere definir una función o mapa de valores numéricos a colores. Un mapa de colores normalmente se define seleccionando un continuo de colores que se asignan linealmente a un rango de valores numéricos. La Figura 1 muestra un ejemplo simple de un mapa de color donde los valores numéricos entre -1 y 0 se asignan a colores azules de brillo variable y los valores numéricos entre 0 y 1 se asignan a colores rojos.



Figura 1. Un ejemplo simple de un mapa de colores.

La eficacia de una visualización de pseudocolor depende de la capacidad de un observador humano para traducir los colores a los valores numéricos que representan. La elección de los colores utilizados en un mapa de pseudocolor puede tener un gran impacto en la traducción del verso. En consecuencia, mucha investigación se ha centrado en la percepción del color y su efecto en la visualización de datos [6, 17, 20, 23, 24]. Como era de esperar, la elección del color puede tener un impacto dramático en el desempeño del espectador al interpretar los colores como números, y se han diseñado muchos conjuntos de colores efectivos para este propósito.

Con esta rica comprensión de la percepción del color, uno podría pensar que las visualizaciones modernas hacen un uso efectivo del color. Naciones Unidas afortunadamente, hoy en día muchas visualizaciones utilizan conjuntos de colores que se sabe que son extremadamente problemáticos. En particular, el mapa de colores del arco iris, llamado así por su uso del espectro de colores del arco iris, se usa de manera generalizada en la visualización a pesar de la abundante evidencia de que funciona mal [5, 12, 17, 19, 20, 25].

Este documento es una retrospectiva sobre por qué estos malos colores se eligen tan comúnmente para la visualización y es una declaración de posición sobre lo que nosotros, como profesionales, podemos hacer para promover mejor el buen uso del color.

## Problemas con el arcoiris



Figura 2. El mapa de colores del arcoíris. Conocer a tu enemigo.

Aunque hay muchas maneras de hacer un mal uso del color, este documento se enfoca más específicamente en el uso de los colores del arco iris como los que se muestran en la Figura 2 para la visualización científica. Esto se debe a que el color del arco iris

El mapa está extremadamente bien estudiado y se sabe que es una representación muy pobre de los datos, sin embargo, los colores del arco iris todavía se usan con frecuencia en las visualizaciones científicas.

Hay varias buenas publicaciones que describen los problemas con el mapa de colores del arco iris [5, 12, 19], por lo que no hacemos un análisis exhaustivo aquí. En cambio, este documento ofrece una breve descripción general de los problemas del mapa de colores del arco iris, que se dividen en tres categorías: ordenamiento no natural, percepción irregular y sensibilidad a las deficiencias de color.

El primer problema es que los colores del arco iris no siguen ningún orden natural percibido. Aunque el orden de los matices se puede aprender, no existe un sentido innato de mayor o menor [25].

El segundo problema es que los cambios de percepción en los colores del arco iris no son uniformes. Los colores parecen cambiar mucho más rápido en la región amarilla que en la región verde. Esto puede ofuscar los datos con artefactos que no están en los datos y ocultar características importantes que están en los datos [5].

El tercer problema con el mapa de colores del arcoíris es que es sensible a las deficiencias en la visión. Aunque la visión humana normal puede distinguir todos los colores del arcoíris, aproximadamente el 5% de la población tiene deficiencias para distinguir estos colores (generalmente entre el verde y el rojo). Estos espectadores malinterpretarán gran parte del mapa de colores [12].

## Por qué usamos malos colores La

investigación muestra que los sujetos tienden a sobrestimar su capacidad para interpretar los colores del arco iris [4]. Es decir, los usuarios piensan que están interpretando los colores del arcoíris mejor que las alternativas, aunque en realidad lo están haciendo peor. Este es sin duda un factor que contribuye a la proliferación del mapa de colores del arcoíris, pero no toda la razón. ¿Por qué, si no, el mapa de colores del arcoíris sería tan profuso en las publicaciones de la propia comunidad de visualización, una comunidad que debería saberlo mejor [5]?

## Simplicidad

Una explicación es la pura simplicidad de crear el mapa de colores del arco iris. Casi todas las selecciones de color en las interfaces de gráficos por computadora se realizan con canales RGB (rojo-verde-azul). RGB es una opción natural en gráficos por computadora porque los valores de triplete coinciden

la intensidad de la luz roja, verde y azul mezclada en la mayoría de las pantallas periféricas. Una consecuencia no deseada del espacio de color RGB es que uno de los colores continuos más fáciles de hacer es una interpolación entre diferentes combinaciones de canales completamente activos y completamente inactivos, que son de hecho los colores del arco iris. Muchas interfaces gráficas de computadora también permiten elegir colores con canales HSV (valor de saturación de tono). El espacio de color HSV hace que el arco iris colores aún más fáciles: mantenga la saturación y el valor al máximo mientras tonalidad variable.

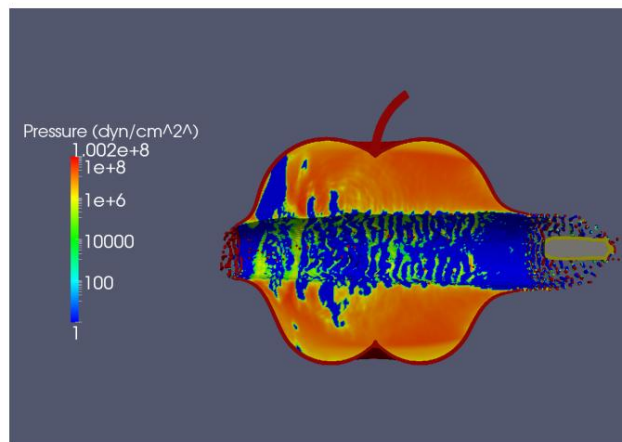
Con la simplicidad de crear un espectro de colores del arco iris, combinado con la inclinación a aceptar los colores como una buena representación, no es de extrañar que los colores del arco iris sean a menudo los primeros implementados a medida que se construye un paquete de visualización y es probable que convertirse en el predeterminado. Estas malas opciones de color iniciales rápidamente se arraigan en el software como pruebas de regresión y hacia atrás. se debe mantener la compatibilidad. Otras capas de software siguen aceptando este valor predeterminado y es probable que las aplicaciones de software exponer el mapa de colores del arco iris como su opción predeterminada para los usuarios finales. Pocos usuarios tendrán el conocimiento o la inclinación para cambiar los colores predeterminados utilizados y, por lo tanto, el mapa de colores del arco iris se presenta a lo largo de las visualizaciones.

## Estética

Sin embargo, la simplicidad no es la única razón por la que los colores del arco iris son tan ampliamente utilizados. Si ese fuera el caso, el simple hecho de hacer una mejor alternativa erradicaría el uso de malos colores. Pero esto, al menos anecdóticamente, se demuestra que no es el caso. Considere, por ejemplo, número de error 7024 para la aplicación de visualización científica ParaView.<sup>1</sup> Un usuario planteó este error poco después de que el mapa de color predeterminado en ParaView se cambió del mapa de colores del arco iris al mapa que se muestra en la Figura 1, que está diseñado para ser razonablemente similar a el mapa de colores del arco iris al que suplanta pero con mejores características perceptivas [13]. A pesar de este movimiento para hacer el mejor color, mapa más fácil, este informe de error es un artefacto de la dificultad del usuario como hizo los movimientos adicionales para volver al color del arco iris mapa.

La sobreestimación de la eficacia del mapa de colores del arco iris podría ser un motivador para gastar esfuerzo para volver a él, pero es poco probable que sea un motivador muy fuerte. De hecho, otra anécdota incidentes sugieren que incluso los usuarios que son conscientes del arco iris los defectos todavía tienen una afinidad para usarlo. Considere la visualización de ejemplo en la Figura 3 creada por uno de mis colegas en Sandia Laboratorios Nacionales. Él y yo hemos tenido muchas conversaciones animadas sobre el uso del color y todavía encuentra la ocasión de usar la lluvia. colores del arco. Su argumento es que esta visualización particular no se utiliza para el estudio científico, sino para comunicar y interactuando con no expertos, y estos colores llamativos son los mejor para este propósito.

En última instancia, es la naturaleza llamativa de los colores del arco iris. eso nos hace volver a ellos una y otra vez. Independientemente de cómo podamos interpretar estos colores, los colores puros brillantes y variados son ciertamente cautivadores (si no distraen), y se necesita mucho tiempo y experiencia para batir estos colores en la estética sola.



**Figura 3.** A pesar de tener años de experiencia y conocer bien la problemas con los mapas de colores del arco iris, el diseñador de esta visualización eligió estos colores frente a otros ofrecidos con mejores propiedades perceptivas.

## Inercia

Finalmente, un importante contribuyente a la persistencia del color del arco iris mapa es que se ha arraigado en la visualización científica. Tomemos como ejemplo VTK [22], la popular biblioteca de visualización. A pesar del hecho de que se han utilizado mejores mapas de color y se han contribuido a VTK, la coloración predeterminada aún vuelve al arco iris. mapa. El problema es que aunque es fácil añadir una nueva característica a VTK, es difícil cambiar una función principal como los colores predeterminados. VTK contiene cientos de pruebas de regresión que podrían fallar si el los colores predeterminados se cambian, y actualizarlos puede llevar mucho tiempo consumidor. Además, tal cambio romperá necesariamente compatibilidad con versiones anteriores y, por lo tanto, debe ser aprobado por el mayor Comunidad VTK, otro proceso que consume mucho tiempo. Estas minucias de desarrollo de software crean inercia al cambiar el mapa de color uso.

El mismo tipo de inercia se forma dentro de las comunidades científicas. utilizando herramientas de visualización. A menudo, los científicos comparan los resultados actuales con resultados anteriores. Si los resultados científicos anteriores solo están disponibles con el mapa de colores del arco iris, la comunidad se queda atrapada con estas opciones de color.

## Cómo podemos promover el buen uso del color

Proporcionar y fomentar el buen uso del color en la visualización es una batalla en curso. Hay muchas actividades que la comunidad de investigación y desarrollo de visualización puede hacer, y probablemente todas serán requerido hasta cierto punto.

## Educación

Muchas investigaciones han demostrado que los sujetos tienden a sobrestimar la eficacia del mapa de colores del arco iris [4]. Por lo tanto, es fundamental que los practicantes de visualización son educados en el uso apropiado de color.

Afortunadamente, la comunidad de visualización ha estado atenta en los últimos años para capacitar a sus propios practicantes en el buen uso del color, y hay pruebas de que hemos avanzado. Borland y Taylor [5] informa que el 52% de los artículos en las actas de la conferencia IEEE Visualization de 2005 que muestran datos con pseudocoloreado utilizan un mapa de colores del arco iris. En contraste, en las actas de la conferencia de visualización del IEEE de 2014, solo el 29 % de los artículos (8 de 28)

<sup>1</sup><http://www.paraview.org/Bug/view.php?id=7024>

que presentan la pseudocoloración de un campo escalar 3D utilizan un mapa de colores del arco iris, y solo el 16 % de los artículos (10 de 62) que presentan la representación en color de cualquier dato secuencial utilizan un mapa de colores del arco iris. Se están haciendo progresos.

Sin embargo, la educación tiene sus límites. Aunque podría ser factible educar a los profesionales de la visualización, es poco probable que podamos llegar a todos los usuarios potenciales de visualización. La visualización es una parte integrada de la ciencia computacional, y muchas herramientas están diseñadas con el entendimiento de que serán utilizadas por el profano en visualización. Además, como hemos visto anteriormente, a menudo sucede que, incluso después de tener suficiente educación para saber que el mapa de colores del arco iris es malo, los usuarios aún tienden a aplicarlo. La educación es necesaria, pero no suficiente.

#### Advertencia Cuando la

educación no es suficiente para evitar el mal uso del color, a veces es necesario un pequeño empujón. Cuando vemos colores que sabemos que son malos, debemos tomarnos el tiempo para intentar que el creador los arregle. A veces esto es simplemente informar a la persona. A veces implica alguna amonestación.

Aparte de las reuniones cara a cara con colegas, hay muchas oportunidades para redirigir las visualizaciones que se desvían. Una de las mejores aperturas de este tipo es la revisión de publicaciones. Una de las responsabilidades de un revisor por pares es garantizar que el documento, incluidas sus cifras, transmita información de manera efectiva y honesta. Como tal, es completamente apropiado reprender las pantallas gráficas que usan colores perceptivamente engañosos y, como barrera para la publicación, usted, como revisor, puede agregar algo de motivación.

Además de analizar ejemplos de visualización individuales, es bueno examinar las herramientas de software utilizadas para generar visualizaciones. ¿El software intenta producir buenos colores o simplemente genera los colores del arco iris de forma predeterminada, lo que fomenta aún más su uso? Si es esto último, entonces los usuarios y observadores deben señalar esta falla. Uno de esos mecanismos es plantear solicitudes de errores o funciones al equipo de desarrollo. Otro mecanismo es señalar la deficiencia en un entorno público en el que los desarrolladores pueden participar. Después de todo, fue la amonestación pública en la publicación de Borland y Taylor [5] más que nada lo que motivó al equipo de desarrollo de ParaView a eliminar el color del arco iris. mapa por defecto.

Y en ese sentido, **VisIt** [8], **EnSight** [9], **VTK** [22], **VA POR** [15] y **MayaVi** [16], considérense amonestados por seguir usando el mapa de colores del arco iris como predeterminado.

#### Simplificación Como

se indicó anteriormente, uno de los principales factores que hacen que los colores del arco iris sean una opción principal en la visualización es la gran simplicidad de crearlos. Sin embargo, cuanto más simple sea crear buenos colores, más probable es que un usuario lo haga. Idealmente, hacemos que una buena coloración sea más fácil de aplicar que una mala coloración.

El primer paso es que los expertos que diseñan colores para la visualización hagan accesibles los colores que crean. La creación de ejemplos y la publicación de literatura es importante, pero para tener un impacto real en el campo de la visualización, la coloración debe entregarse en un formato que puedan usar los no expertos.

Un excelente ejemplo de hacer accesible la investigación del color es el trabajo de Brewer, et al. [7]. Este trabajo ha producido una plétora de esquemas de color que se pueden usar para asignar valores a colores.

Pero el valor real para los profesionales de la visualización es que Brewer

proporciona una página web [1] que se muestra en la Figura 4 con una interfaz simple e intuitiva para elegir una colección de colores. Una vez seleccionado, el sitio proporciona valores de color que se importan fácilmente a cualquier programa, API o interfaz web. El trabajo de crear y mantener este sitio está muy por encima y más allá de cualquiera de las publicaciones, pero el efecto que tiene este sitio web en el campo de la visualización va mucho más allá de cualquier cosa que las publicaciones puedan ofrecer. Este repositorio de colores es tan efectivo que, aunque el diseño originalmente estaba destinado específicamente a la cartografía, el sitio web de Color Brewer es una referencia estándar para todo tipo de visualización.

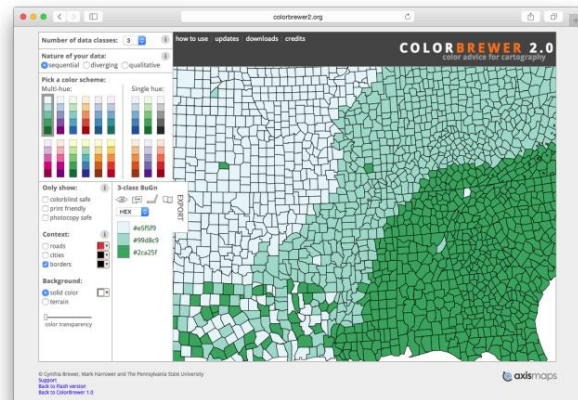


Figura 4. El sitio web de ColorBrewer.

No todos podemos ser tan geniales como Color Brewer, pero incluso los recursos simples listos para jugar pueden marcar la diferencia. Considere mi artículo anterior sobre mapas de colores divergentes [13]. Cuando publiqué este documento, publiqué un sitio web complementario simple que proporciona valores de color de ejemplo que se importan fácilmente en el software, así como el software y las herramientas utilizadas para construir el documento [2]. Sigo manteniendo el sitio y además he agregado contribuciones de varios lectores. Aunque esta página requiere un poco de esfuerzo para construir y mantener, ha ayudado enormemente a que la investigación se arraigue en la práctica, lo que ayuda a la comunidad de visualización en su conjunto y ayuda a aumentar la visibilidad de mi trabajo de visualización personal.

En última instancia, casi todas las visualizaciones se realizan a través de algún tipo de herramienta de software, y podemos lograr el mayor impacto positivo al diseñar estas herramientas para hacer un buen uso del color. Herramientas como ParaView [3] y MATLAB han cambiado recientemente su color predeterminado para alejarse de los colores del arco iris. Estos cambios generan mejoras en una gran cantidad de visualizaciones producidas.

#### Tiempo

Debido a que las herramientas y las comunidades tienen inercia en la forma en que crean visualizaciones, no podemos esperar que el uso del color cambie de inmediato. Se necesita paciencia, pero con tiempo y presión podemos marcar la diferencia. Se están logrando avances y los expertos en visualización deben continuar con su educación, amonestación y simplificación.

#### Consejos prácticos simples El

resto de este documento se dedica a administrar consejos prácticos simples para usuarios novatos. Diseñar buenos mapas de color es

complejo ya que requiere un conocimiento considerable de la teoría y la percepción del color, implica la resolución de objetivos en conflicto y es ayudado por cierta habilidad artística. Elegir buenos colores requiere mucho tiempo incluso para los expertos.

Este consejo intenta eludir todas estas complejidades aprovechando los colores prefabricados. Como no existe un mapa de color perfecto para todas las instancias, consideramos múltiples opciones, pero intentamos mantener el número de opciones pequeño para simplificar.

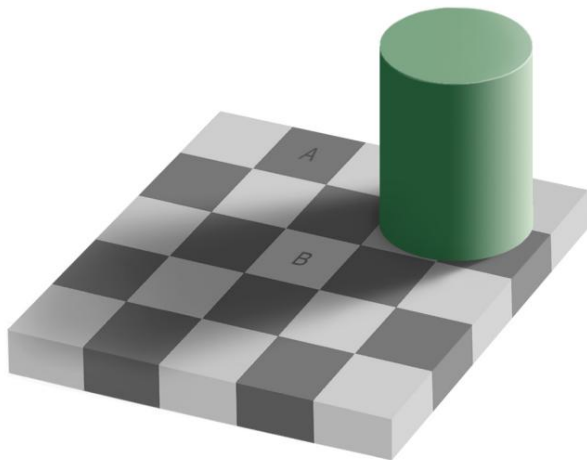
### Color Brewer El

primer recurso para cualquier elección de color debe ser la excelente página web Color Brewer mencionada anteriormente [1] que se muestra en la Figura 4. La colección de mapas de colores proporcionada está muy bien organizada, lo que facilita encontrar un conjunto de colores apropiado para cualquier visualización a la que se aplique. La extensa colección de mapas en color hace que sea probable que haya uno disponible para cualquier necesidad de visualización que tenga. Y dado que cada conjunto de colores está diseñado por expertos, son eficaces y atractivos.

### Visualización 3D Una

operación común en la visualización científica es la aplicación de pseudocoloración en una superficie o volumen 3D. Cuando se utiliza la pseudocoloración en un entorno 3D, se debe tener especial cuidado con las opciones de color, ya que el sombreado de los colores proporciona importantes señales espaciales. La coloración y el sombreado simultáneos no deben interferir entre sí.

Algunos practicantes proponen usar mapas de colores isoluminantes para que la pseudocoloración no altere el sombreado de ninguna manera. Sin embargo, los colores isoluminantes tienden a generar mapas lineales deficientes debido a su bajo contraste [14, 18, 25]. Además, el sistema visual es bastante hábil para distinguir el sombreado causado por las texturas y el sombreado causado por las condiciones de iluminación, como se muestra en la Figura 5.



**Figura 5.** La ilusión de la sombra del tablero publicada por primera vez por Edward H. Adelson. Aunque los cuadrados marcados con A y B miden exactamente el mismo brillo, el sistema visual no tiene problemas para distinguir el sombreado de la textura del tablero de ajedrez en el suelo de la sombra proyectada por el cilindro.

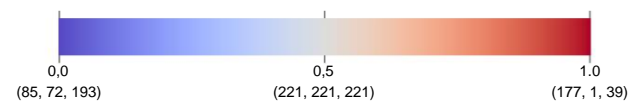
Dicho esto, el sombreado 3D requiere superficies que reflejen una buena cantidad de luz para ser efectivo. Las superficies oscuras parecen amorfas, por lo que un mapa de color utilizado en 3D debería conservar algo de brillo en todo momento. Los mapas de color que caen a negro no se pueden usar en formas 3D.

El consejo común para mapear un campo escalar sin un valor medio especial es usar un mapa de color con un brillo que aumenta monótonamente porque el brillo es una buena indicación del orden y proporciona un alto contraste. El rango máximo de brillo que se puede lograr es ir del negro al blanco (con cualquier número de tonos entre ellos). Sin embargo, debido a que los colores más oscuros interfieren con el sombreado 3D, los colores más oscuros no se pueden usar, lo que reduce la resolución perceptiva del mapa de colores.

Una alternativa a un mapa con brillo monótono es un mapa de colores divergentes, que es un mapa de dos extremos que contiene colores con diferentes matices en cada extremo y se encuentra con un color neutro brillante en el medio. Los mapas de colores divergentes se diseñan tradicionalmente para mostrar escalares que tienen un valor de importancia especial en el medio (como el nivel del mar para la elevación o el punto de congelación para la temperatura).

Los primeros consejos condenaron el uso de mapas de colores divergentes por mostrar un rango uniforme de valores porque no tienen un brillo monótono. Sin embargo, trabajos recientes sugieren el uso de mapas de colores divergentes con matices que tengan señales bajas/altas, como colores fríos y cálidos, que transmitan naturalmente los valores relativos [13]. Recientes estudios de percepción han demostrado que los mapas de colores divergentes son eficaces [4, 21].

El sitio web de Color Brewer [1] contiene varios mapas de colores divergentes que pueden funcionar bien en 3D. También hay recursos para mapas de colores divergentes que se interpolan sin problemas a lo largo de [2] como se muestra en la Figura 6.

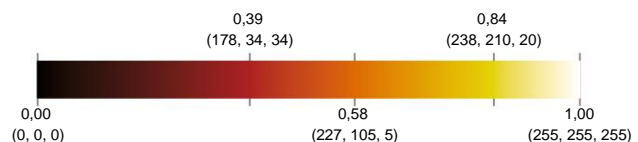


**Figura 6.** Mapas de colores suaves y divergentes para visualización científica. Colores se interpolan en el espacio de color polar Msh [13].

### Campos escalares planos

Algunos casos de uso de la visualización científica implican la pseudocoloración de campos en superficies 2D planas en lugar de 3D. Los casos de uso comunes incluyen campos geográficos, arreglos o matrices densas y funciones bidimensionales. En este caso, la pseudocoloración se puede aplicar a la superficie plana de la imagen, una técnica a veces conocida como mapa de calor. Debido a que la superficie 2D no requiere sombreado, no tiene las limitaciones de color de los datos 3D.

Por lo tanto, para maximizar la resolución perceptiva de un campo plano, a veces es deseable usar un mapa de color que va desde sin brillo (negro) hasta brillo máximo (blanco). Aunque una rampa de escala de grises satisface este criterio, el contraste simultáneo tiende a hacerla perceptualmente imprecisa [25]. La inserción de tonos cambiantes ayuda a eliminar los problemas con el contraste simultáneo.

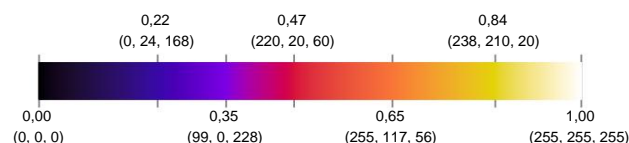


**Figura 7.** El mapa de color de la radiación del cuerpo negro. Los colores proporcionados se pueden interpolan en el espacio de color CIELAB.

Un mapa de color efectivo que va del negro al blanco se conoce como radiación de cuerpo negro, que se muestra en la Figura 7. Este mapa de color es

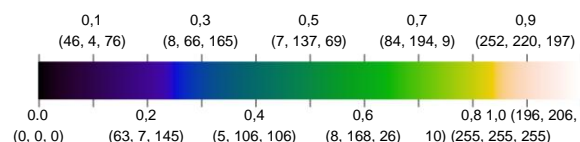


inspirado en el color de la luz emitida por un cuerpo mantenido a diferentes temperaturas. Los cambios en los tonos rojo, naranja y amarillo ayudan a distinguir los colores con diferentes fondos y la progresión de los tonos ayuda a reforzar la interpretación de los colores.



**Figura 8.** Un mapa perceptivamente lineal que incorpora tonos azules y púrpuras además de los rojos y amarillos de la radiación del cuerpo negro. Los colores proporcionados se pueden interpolar en el espacio de color CIELAB.

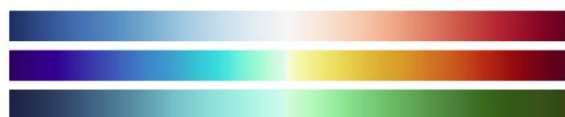
Aunque perceptivamente efectivo, a muchos observadores les resulta más atractivo tener más matices. El mapa de colores que se muestra en la Figura 8, que toma prestado de la paleta de colores predeterminada de gnuplot, mezcla tonos azules y morados para crear colores más atractivos.



**Figura 9.** El mapa de colores de Kindlmann [11]. Los colores proporcionados se interpolan razonablemente bien en el espacio de color CIELAB.

Alternativamente, podríamos usar un cambio máximo de tono entre blanco y negro para distinguir aún mejor los colores en el mapa.

Una forma de hacer esto es girar el tono como lo haría con un mapa de colores del arco iris, pero ajustando el brillo de cada color para que coincida con su ubicación en el mapa de colores, como se muestra en la Figura 9. Este mapa de colores a menudo se conoce como el Mapa de colores de Kindlmann tal como se propuso por primera vez en un artículo de Kindlmann, et al. [11]. También existen variaciones similares, como el mapa de colores cubehelix [10]. Este tipo de mapa de colores funciona bien, especialmente en comparación con el mapa de colores del arco iris.



**Figura 10.** Una colección de mapas de colores divergentes diseñados por Francesca Samsel [21]. Los colores más oscuros en los extremos brindan un mayor rango de percepción para la visualización 2D, pero los colores oscuros no funcionarán bien con el sombreado en superficies 3D.

Otro enfoque es utilizar un mapa de colores divergentes similar al que se analiza para la visualización en 3D. Sin embargo, para campos planos 2D es posible ampliar la gama de colores para que sean más oscuros. La Figura 10 muestra algunos mapas de color que se pueden usar en visualizaciones 2D que tienen un rango mayor que sus contrapartes 3D.

## Conclusión A

pesar de sus muchos defectos, el uso de los colores del arco iris aún persiste en muchas visualizaciones científicas. Sin embargo, hay cosas simples que podemos hacer para desalentar su uso. Debemos continuar educando a los usuarios sobre el uso básico del color y amonestar a aquellos que hacen un mal uso del color.

Lo que es más importante, debemos hacer que el uso de buenos mapas de color sea lo más fácil posible. Este documento proporciona algunos consejos simples con

ejemplos claros de mapas de colores que generalmente funcionan bien dentro de la visualización científica. Para complementar esta información y hacer que estos mapas en color sean aún más accesibles, he establecido el siguiente sitio web para publicar estos mapas en color en un formato que se agrega fácilmente a las visualizaciones.

<http://kennethmoreland.com/color-advice>

A medida que creamos bibliotecas y herramientas de visualización, debemos usar material de referencia como este para proporcionar buenos colores predeterminados para finalizar usuarios

## Agradecimientos Gracias a

Francesca Samsel y Terry Turton por brindarnos sus diseños de mapas en color.

Gracias a Jason Wilke por proporcionar datos de simulación. También gracias a W. Alan Scott por su visualización.

ejemplos (aunque prometí no nombrarlo).

Este material se basa en parte en el trabajo respaldado por el Departamento de Energía de los EE. UU., la Oficina de Ciencias, la Oficina de Investigación Científica Científica Avanzada, con los números de adjudicación 14-017566 y 12-015215. Este trabajo también fue financiado por el Departamento de Energía de EE. UU., la Administración Nacional de Seguridad Nuclear, el Programa de Computación y Simulación Avanzada. Sandia National Laboratories es un laboratorio multiprograma administrado y operado por Sandia Corporation, una subsidiaria de propiedad total de Lockheed Martin Corporation, para la Administración Nacional de Seguridad Nuclear del Departamento de Energía de EE. UU. bajo el contrato DE-AC04-94AL85000.

ARENA 2015-11068C

## Referencias [1]

- <http://colorbrewer2.org.> [2] <http://www.kennethmoreland.com/color-maps/>.
- [3] James Ahrens, Berk Geveci y Charles Law. Paraview: una herramienta de usuario final para la visualización de grandes datos. En Manual de Visualización. Elsevier, 2005. ISBN 978-0123875822.
- [4] Michelle A. Borkin, Krzysztof Z. Gajos, Amanda Peters, Dimitrios Mitsouras, Simone Melchionna, Frank J. Rybicki, Charles L. Feldman y Hanspeter Pfister. Evaluación de visualizaciones arteriales para el diagnóstico de enfermedades cardíacas. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 17(12):2479–2488, diciembre de 2011. DOI 10.1109/TVCG.2011.192.
- [5] David Borland y Russell M. Taylor II. El mapa de colores del arcoiris (todavía) se considera dañino. IEEE Computer Graphics and Applications, 27(2):14–17, marzo/abril de 2007. DOI 10.1109/MCG.2007.323435.
- [6] Cynthia A. Brewer. Diseñando mejores MAPAS: una guía para usuarios de SIG. ESRI Press, 2005. ISBN 1-58948-089-9.
- [7] Cynthia A. Brewer, Geoffrey W. Hatchard y Mark A. Harrower. Colorbrewer impreso: un catálogo de esquemas de color para mapas. Cartography and Geographic Information Science, 30(1):5–32, 2003. DOI 10.1559/152304003100010929.
- [8] Hank Childs, Eric Brugger, Brad Whitlock, Jeremy Meredith, Sean Ahern, David Pugmire, Kathleen Biagas, Mark Miller, Cyrus Harrison, Gunther H. Weber, Hari Krishnan, Thomas Fogal, Allen Sanderson, Christoph Garth, E. Wes Bethel, David Camp, Oliver Rubel, Marc Durant, Jean M. Favre y Paul Navratil. VisIt: una herramienta de usuario final para visualizar y analizar grandes datos. En Visualización de alto rendimiento: Habilitación de la visión científica a escala extrema, páginas 357–372. Octubre 2012.
- [9] Randall Frank y Michael F. Krogh. La aplicación de visualización EnSight. En visualización de alto rendimiento: Habilitación de Extreme-

Scale Scientific Insight, páginas 429–442. CRC Press/Francis–Taylor Group, 2013.

- [10] DA Verde. Un esquema de color para la visualización de imágenes de intensidad astronómica. *Boletín de la Sociedad Astronómica de la India*, 39:289–295, 2011. arXiv:1108.5083.

- [11] Gordon Kindlmann, Erik Reinhard y Sarah Creem. basado en la cara coincidencia de luminancia para la generación de mapas de colores perceptivos. En *Proceedings of IEEE Visualization*, páginas 299–306, octubre de 2002. DOI 10.1109/VISUAL.2002.1183788.

- [12] A. Light y PJ Bartlein. ¿El final del arcoíris? Esquemas de color para gráficos de datos mejorados. *EOS, Transactions, Unión Geofísica Americana*, 85(40):385, 391, octubre de 2004.

- [13] Kenneth Moreland. Mapas de colores divergentes para visualización científica. En *Advances in Visual Computing (Proceedings of the 5th International Symposium on Visual Computing)*, volumen 5876, páginas 92–103, diciembre de 2009. DOI 10.1007/978-3-642-10520-3 9.

- [14] Kathy T. Mullen. La sensibilidad al contraste de la visión del color humano a las rejillas cromáticas rojo-verde y azul-amarillo. *The Journal of Physiology*, 359:381–400, febrero de 1985.

- [15] Alan Norton y John Clyne. La aplicación de visualización VAPOR. En *Visualización de alto rendimiento: Habilitación del conocimiento científico a escala extrema*, páginas 415–427. CRC Press/Francis–Taylor Group, 2013.

- [16] Prabhu Ramachandran y Ga el Varoquaux. Mayavi: visualización 3D de datos científicos. *Computing in Science & Engineering*, 13(2):40–51, marzo/abril de 2011. DOI 10.1109/MCSE.2011.35.

- [17] Penny Rheingans. Diseño de escala de color basado en tareas. En *Proceedings of Applied Image and Pattern Recognition '99*, páginas 35–43, octubre 1999. DOI 10.1117/12.384882.

- [18] Bernice E. Rogowitz y Alan D. Kalvin. El "proyecto de qué blair": un método visual rápido para evaluar mapas de color perceptivos. En *Actas de la Conferencia sobre Visualización '01*, páginas 183–190, octubre de 2001.

- [19] Bernice E. Rogowitz y Lloyd A. Treinish. Visualización de datos: el final del arcoíris. *IEEE Spectrum*, 35(12):52–59, diciembre de 1998. DOI 10.1109/6.736450.

- [20] Bernice E. Rogowitz, Lloyd A. Treinish y Steve Bryson. Cómo no mentir con la visualización. *Computers in Physics*, 10(3):268–273, mayo/junio de 1996. DOI 10.1063/1.4822401.

- [21] Francesca Samsel, Mark Petersen, Terece Geld, Greg Abram, Joanne Wendelberger y James Ahrens. Mapas de colores que mejoran la percepción de los datos oceánicos de alta resolución. En *Actas de la 33.ª conferencia anual de ACM, resúmenes extendidos sobre factores humanos en sistemas informáticos (CHI EA '15)*, páginas 703–710, 2015. DOI 10.1145/2702613.2702975.

- [22] Will Schroeder, Ken Martin y Bill Lorensen. El kit de herramientas de visualización: un enfoque orientado a objetos para gráficos 3D. Kitware Inc., cuarta edición, 2004. ISBN 1-930934-19-X.

- [23] Samuel Silva, Beatriz Sousa Santosa y Joaquim Madeira. Uso del color en la visualización: una encuesta. *Computers & Graphics*, 35(2):320–333, abril de 2011. DOI 10.1016/j.cag.2010.11.015.

- [24] Colin Ware. Secuencias de colores para mapas univariados: teoría, experimentos y principios. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 8(5):41–49, septiembre/octubre de 1988. DOI 10.1109/38.7760.

- [25] Colin Ware. *Visualización de Información: Percepción para el Diseño*. más gan Kaufmann, 2.ª edición, 2004. ISBN 1-55860-819-2.

## Biografía del autor

El Dr. Kenneth Moreland es miembro principal del personal técnico de los Laboratorios Nacionales Sandia. Recibió la licenciatura en ciencias de la computación e ingeniería eléctrica de New Mexico Tech en 1997. Recibió una maestría y un doctorado. grados en informática de la Universidad de Nuevo México en 2000 y 2004, respectivamente.

El Dr. Moreland se especializa en visualización a gran escala y desempeña un papel activo en varios productos de HPC, incluidos ParaView, VTK, IceT, Dax y VTK-m.