

# Por qué vemos lo que vemos

Una estrategia probabilística, basada en la experiencia previa, explica la notable diferencia entre lo que vemos y la realidad física

Dale Purves, R. Beau Lotto y Surajit Nundy

Las ilusiones ópticas resultan fascinantes. Lo que vemos —se considere por el brillo de los objetos, por sus colores o por su disposición en el espacio— se encuentra no pocas veces en discordancia con la realidad subyacente que miden fotómetros, espectrofotómetros o reglas graduadas. En el siglo XVIII, el filósofo irlandés George Berkeley proporcionó cierta inteligencia de estas discrepancias. En su “Ensayo hacia una nueva teoría de la visión”, hizo notar que la estimación de la distancia, por ejemplo, no puede ser directamente deducida de la información geométrica de la imagen retiniana. En efecto, una línea dada de la imagen retiniana podría haber sido generada tanto por el borde de un objeto cercano de pequeño tamaño como por otro objeto más alejado, pero de mayor tamaño.

Toda la información de la retina sufre esta ambigüedad intrínseca. En el estímulo retiniano, la iluminación de los objetos y las propiedades físicas que determinan la cantidad y calidad de la luz que devuelven al ojo se funden en una unidad; así, el argu-

mento general de Berkeley es aplicable a las sensaciones de brillo y color, amén de serlo a la percepción del espacio. En cada uno de estos aspectos fundamentales de la visión, la información contenida en la imagen de la retina no puede revelar directamente las auténticas fuentes de los estímulos procedentes del mundo físico. En consecuencia, la relación entre el mundo y nuestra percepción de él es, por naturaleza, de índole incierta.

Además de ofrecernos una idea de por qué lo que vemos quizá no esté siempre acorde con la realidad, este hecho fundamental de la visión presenta un dilema biológico. Es obvio que la supervivencia en un medio complejo, quizá hostil, depende de que se responda adecuadamente a la realidad física que subyace a las imágenes proyectadas sobre la retina. Por ejemplo, la confusión de un objeto pequeño y cercano con otro mayor, pero más distante, podría resultar catastrófica para el observador. Ahora bien, si la imagen de la retina no puede definir unívocamente la realidad a la que el observador ha de responder, ¿de qué modo logra el sistema visual generar una conducta que, por lo general, se enfrenta con éxito a un mundo que no puede aprehender directamente?

Como demostramos aquí, un conjunto de pruebas cada vez mayor indica que el sistema visual de los humanos —y presumiblemente el de muchos animales dotados de visión— resuelve el dilema de Berkeley mediante la generación de percepciones a partir de una base enteramente empírica. No se analizan los componentes de la imagen retiniana en cuanto tales; las percepciones se determinan de manera probabilística:

## El autor

DALE PURVES ostenta la cátedra George Barth Geller de investigación en neurobiología. Enseña psicología y ciencias del cerebro en la Universidad Duke. R. Beau Lotto es profesor adjunto de oftalmología en el Colegio Universitario de Londres. Surajit Nundy realiza estudios de posgrado en neurobiología en la Universidad Duke.

© *American Scientist Magazine*.



DALE PURVES, R. BEAU LOTTO Y SURAJIT NUNDY

**1. A MENUDO, LO PERCIBIDO DISCREPA** de las propiedades medidas en los objetos de una escena. En esta imagen, por ejemplo, la loseta blanca situada en la sombra de la mesa parece más brillante que la loseta gris situada a

su derecha, a pesar de que son físicamente idénticas. Este artículo indica la razón de que se produzcan tales discrepancias, en apariencia una mala adaptación, entre lo percibido y la realidad.

gracias a la retroalimentación de los resultados de conductas guiadas por la vista en experiencias anteriores se va mejorando progresivamente el rendimiento, habida cuenta de la inevitable incertidumbre de la información retiniana. El resultado de este proceso, y sin duda la prueba de que existe, es la discrepancia entre lo que percibimos y las características del estímulo de la retina o las propiedades de los objetos subyacentes; concuerda, en cambio, con los significados típicos que iguales o parecidos estímulos han tenido, tanto en la experiencia de la especie, a lo largo de los siglos, como en la experiencia

de los individuos, a lo largo de sus vidas.

## El fundamento de la brillantez

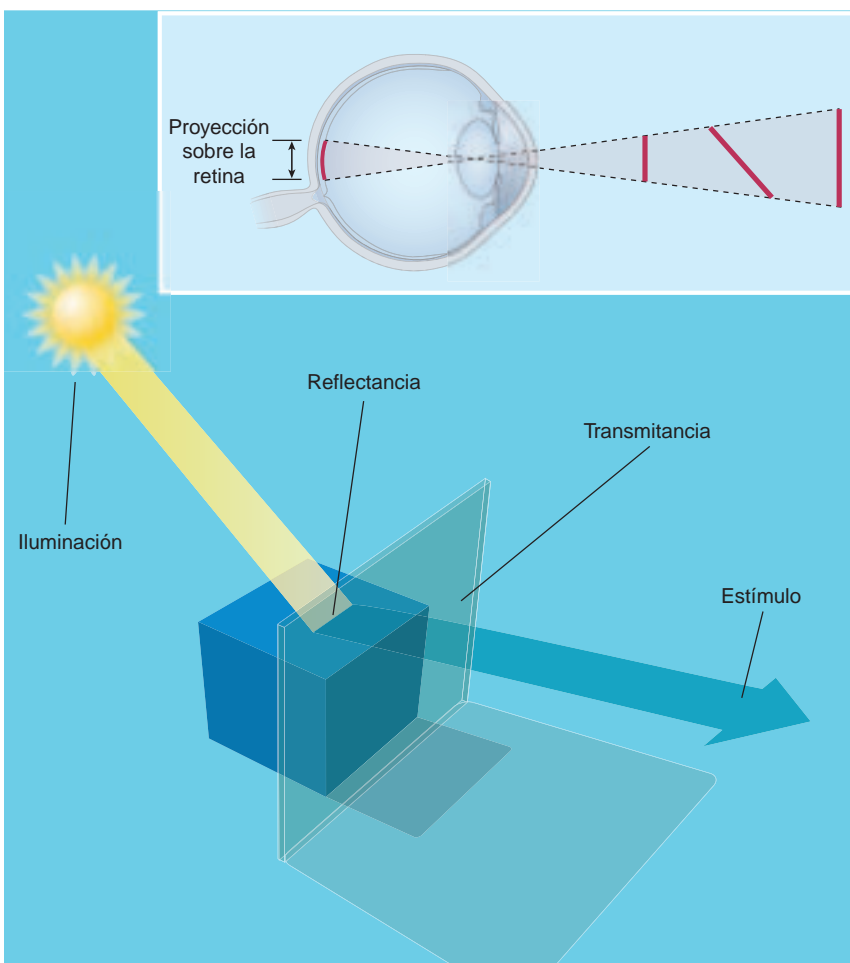
La intensidad física de un estímulo luminoso induce sensaciones de iluminación u oscuridad relativa, que constituyen, cabe defender, el aspecto más fundamental de la visión. Sería razonable presumir que la brillantez percibida debería guardar proporción con la intensidad de la luz, de modo que la llegada al ojo de una luz más in-

tensa habría de estar siempre en correspondencia con una sensación de luz más intensa; pero no es así. La realidad es que dos superficies que reflejen hacia los ojos la misma cantidad de luz, físicamente medida, suelen parecer de diferente brillo si las superficies se observan en ambientes o fondos que estén a su vez devolviendo diferentes cantidades de luz. Tal fenómeno se denomina *contraste de brillos simultáneos*.

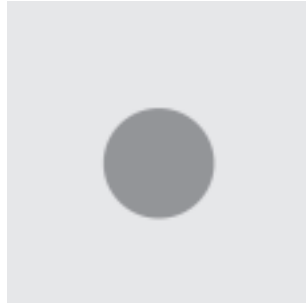
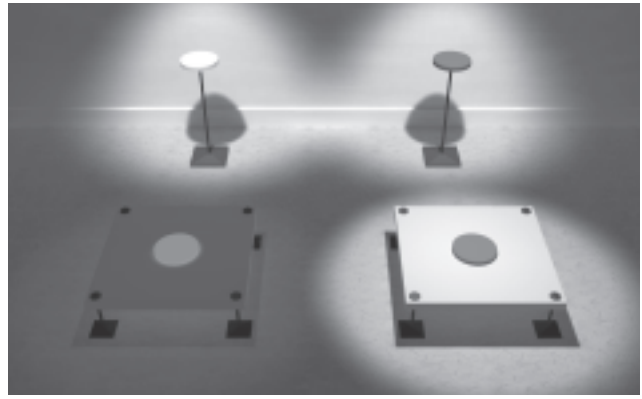
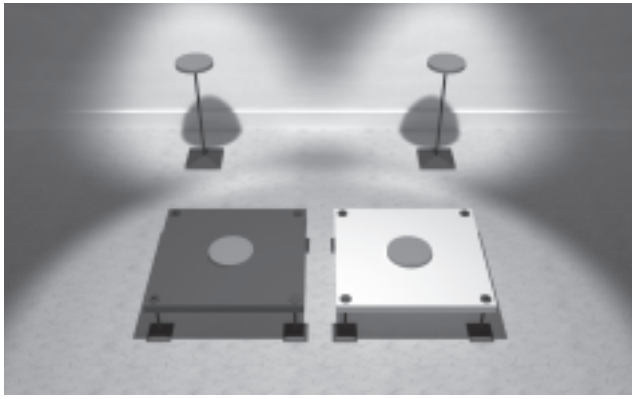
Los neurobiólogos, en el pasado, fundaban la explicación de este conocido efecto en las neuronas retinianas; éstas envían información desde el ojo hasta la porción visual del cerebro y reaccionan, por razones que tienen que ver con la optimización de la detección de bordes, más vigorosamente a una mancha gris en un ambiente oscuro que a la misma mancha en uno claro. Si la frecuencia de disparo de las neuronas retinianas determinase el brillo aparente de las regiones, sería de esperar que la mancha sobre fondo oscuro diera la impresión de brillar más que la misma mancha sobre un fondo más claro.

Esta interpretación tropieza, entre otras cosas, con que también se puede lograr que parezca que brillan con distinta intensidad regiones inmersas en vistas donde tienen exactamente el mismo entorno. De hecho, como Wilhelm von Bezold, un físico del siglo XIX, demostró, una diana rodeada por un terreno de luminancia predominantemente superior puede parecer —en circunstancias apropiadas— más brillante que esa misma diana rodeada por un terreno de menor luminancia media. Tal situación es justamente la opuesta de la forma normal del efecto de contraste de brillos simultáneos, y lo contrario de lo que pronostica la explicación del brillo a partir de la frecuencia de disparo neuronal retiniano.

¿Cómo pueden explicarse, pues, estos hechos desconcertantes de la relación entre la intensidad física de la luz y la sensación de brillo asociada? Recordemos que la igualdad de las intensidades de luz emanadas de las dos porciones de superficie de que se trata es ambigua de por sí. Es decir, que superficies de similar reflectancia bajo el mis-



**2. LO QUE VEMOS ESTA DETERMINADO** por diversas propiedades de la luz. La luz que llega a la retina depende de la iluminación del objeto, de cuántas y cuáles componentes de la iluminación se reflejan y de cómo se transmite la luz reflejada a través de los medios interpuestos, se trate del aire o del cristal (parte de abajo, a la izquierda de la ilustración). Además, una misma proyección sobre la retina puede estar generada por un objeto pequeño y cercano, por otro grande y lejano, o por un objeto a distancia intermedia que se halle inclinado (arriba, a la derecha). Estos hechos elementales vuelven ambiguos todos los estímulos visuales.



**3. EL CONTRASTE DE BRILLOS SIMULTANEOS** se define como la diferencia del brillo aparente de una misma superficie en ambientes distintos. En este caso, una misma diana gris —la figura circular— parece más brillante sobre fondo oscuro que en otro más claro (*izquierda*). Los dibujos de arriba permiten ver que este estímulo puede proceder de diversas situaciones físicas: regiones físicamente idénticas sobre superficies pintadas de distinta manera (*arriba, a la izquierda*) y regiones físicamente diferentes bajo iluminantes diferentes (*arriba, a la derecha*). Dado que el estímulo ordinario de los brillos simultáneos —las

dianas grises (*izquierda*)— contiene información que es compatible tanto con dos superficies semejantes bajo iluminantes similares, como con dos superficies diferentes bajo iluminantes diferentes, el observador ve valores de brillo que toman en consideración ambas posibilidades.

mo iluminante y superficies de reflectancia disímil sometidas a distintas cantidades de iluminación pueden generar en el ojo estímulos idénticos.

Supongamos que esta incertidumbre queda enteramente resuelta merced a la experiencia adquirida con lo que las fuentes de tales estímulos resultaron ser, determinada a su vez por el éxito o fracaso de la conducta correspondiente. Entonces, en la medida en que un estímulo de esta suerte concuerda con la experiencia previa sobre superficies diana reflectantes expuestas al mismo iluminante, las dianas tenderán a aparecer de brillantez similar, porque, para que la conducta pueda aprovecharlas, las cosas que son iguales tienen que parecer iguales. Sin embargo, en la medida en que el estímulo sea compatible con que se trate de objetos con diferente reflectividad bajo distintas intensidades de iluminación, las dianas tenderán a parecer distintas en brillo, porque para ser útiles al observador las cosas que son diferentes tienen que parecer diferentes. Dado que la información contenida en los estímulos normales del contraste de brillos simultáneos concuerda tanto con dos superficies diferentes bajo distintos iluminantes, como con

superficies parecidas bajo iluminaciones parecidas, lo que el observador ve reflejará ambas posibilidades. El estímulo es, en términos estadísticos, compatible en cierto grado con superficies que poseen reflectancias distintas; de ahí que zonas idénticas parezcan tener brillos diferentes en una muestra ordinaria del contraste de brillos simultáneos.

Puede ésta parecer una extraña manera de generar estímulos visuales. Sin embargo, ante la inevitable incertidumbre de la información contenida en la imagen retiniana, tal vez sea la forma mejor —si no la única— de resolver el dilema de Berkeley.

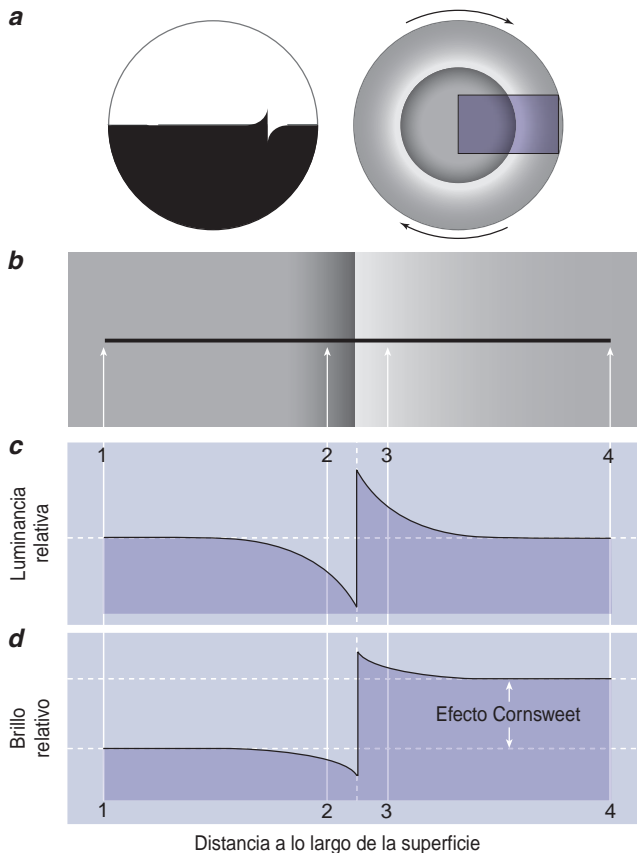
## Estímulos complejos

Si esta explicación general fuese correcta, debería inducir el mismo efecto perceptual cualquier estímulo en el que territorios diana con una misma luminancia hayan resultado ser, de ordinario, objetos reflectantes distintos expuestos a diferentes cantidades de luz. Un problema particularmente interesante lo

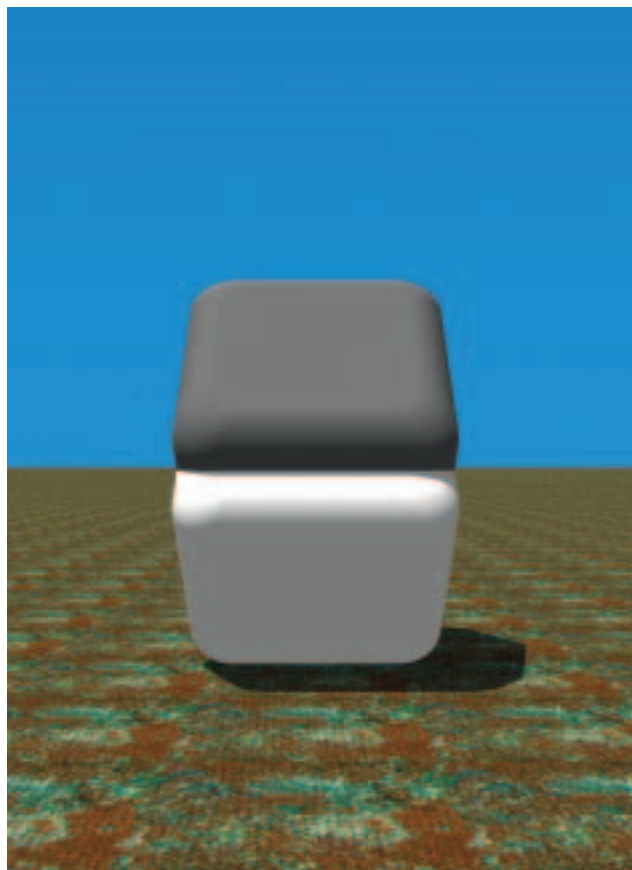
constituye la percepción generada por un estímulo más complejo, el borde de Cornsweet, así llamado en honor de Tom Cornsweet, el psicólogo que describió este efecto a finales del decenio de 1960.

En el efecto Cornsweet, gradientes opuestos de luminancia que se encuentran en un borde hacen que regiones contiguas, físicamente idénticas, parezcan tener distinto brillo. Concretamente, la región contigua al gradiente más claro parece más brillante que la región contigua al gradiente más oscuro. Dado que este efecto perceptivo es el contrario del efecto normal de contraste de brillo simultáneo, el estímulo Cornsweet proporciona un ejemplo más de por qué no funcionan las explicaciones basadas en las relaciones de contraste local.

A pesar de su estructura complicada, el efecto borde Cornsweet puede también ser explicado en términos empíricos. El denominador común del estímulo Cornsweet y de los estímulos ordinarios con contraste de brillos simultáneos es que las percepciones pueden, en ambos casos, entenderse gracias a las po-



**4. EL EFECTO CORNSWEET** consiste en que regiones idénticas parezcan tener diferente brillo cuando están separadas por gradientes de luminancia opuestos que concurren en un borde. Dicho efecto puede ser creado por diversos estímulos, entre ellos un disco giratorio blanco y negro (a). La región adyacente al gradiente más claro parece más brillante que la región vecina al gradiente más oscuro (b): se trata del efecto opuesto al efecto normal de contraste de brillos simultáneos. La curva de luminancia relativa (c) hace ver que las dos zonas de cada lado del borde son físicamente idénticas, pero una representación gráfica de la percepción del brillo (d) indica que el lado derecho parece más brillante que el izquierdo: en ello consiste el efecto Cornsweet. Los bloques que ponen de manifiesto el efecto Cornsweet en una escena visual (e) intensifican la ilusión, porque la información presentada aumenta la probabilidad de que los dos bloques sean superficies reflectantes distintas bajo iluminantes diferentes. El bloque superior parece ahora mucho más oscuro que el inferior, a pesar de que ambos son idénticos.



sibles fuentes de los territorios diana físicamente idénticos. Así, las regiones equi-iluminantes que lindan con los gradientes que comprenden un borde de Cornsweet podrían haber sido generadas por superficies de pareja reflectividad bajo el mismo iluminante —unos gradientes pintados en la superficie de una hoja de papel sobre la cual la luz incide uniformemente— o bien por superficies de diferente reflectividad expuestas a distintas intensidades de iluminación —un hexaedro, digamos, de bordes redondeados situado de modo que una de las caras se encuentre a la luz y la otra, en la sombra—. Ambos supuestos, y una multitud más, son posibles en la rea-

lidad; según una teoría exclusivamente probabilística de la visión, la percepción suscitada por el estímulo tomará en consideración todas las posibles fuentes, en proporción con la frecuencia con que se dieron en el pasado. Dado que, a menudo, el estímulo habrá sido generado por superficies reflectantes diferentes con distintas iluminaciones, como en el supuesto del cubo, los territorios diana parecerán tener diferente brillo.

Si esta explicación estadística basada en la experiencia previa tuviera algún valor, entonces el efecto perceptual del borde de Cornsweet debería resultar acentuado, disminuido o abolido en cuanto se alterasen

las probabilidades relativas de las posibles fuentes del estímulo, sin modificar el estímulo en sí. Como varios experimentos ponen de manifiesto, eso es lo que ocurre.

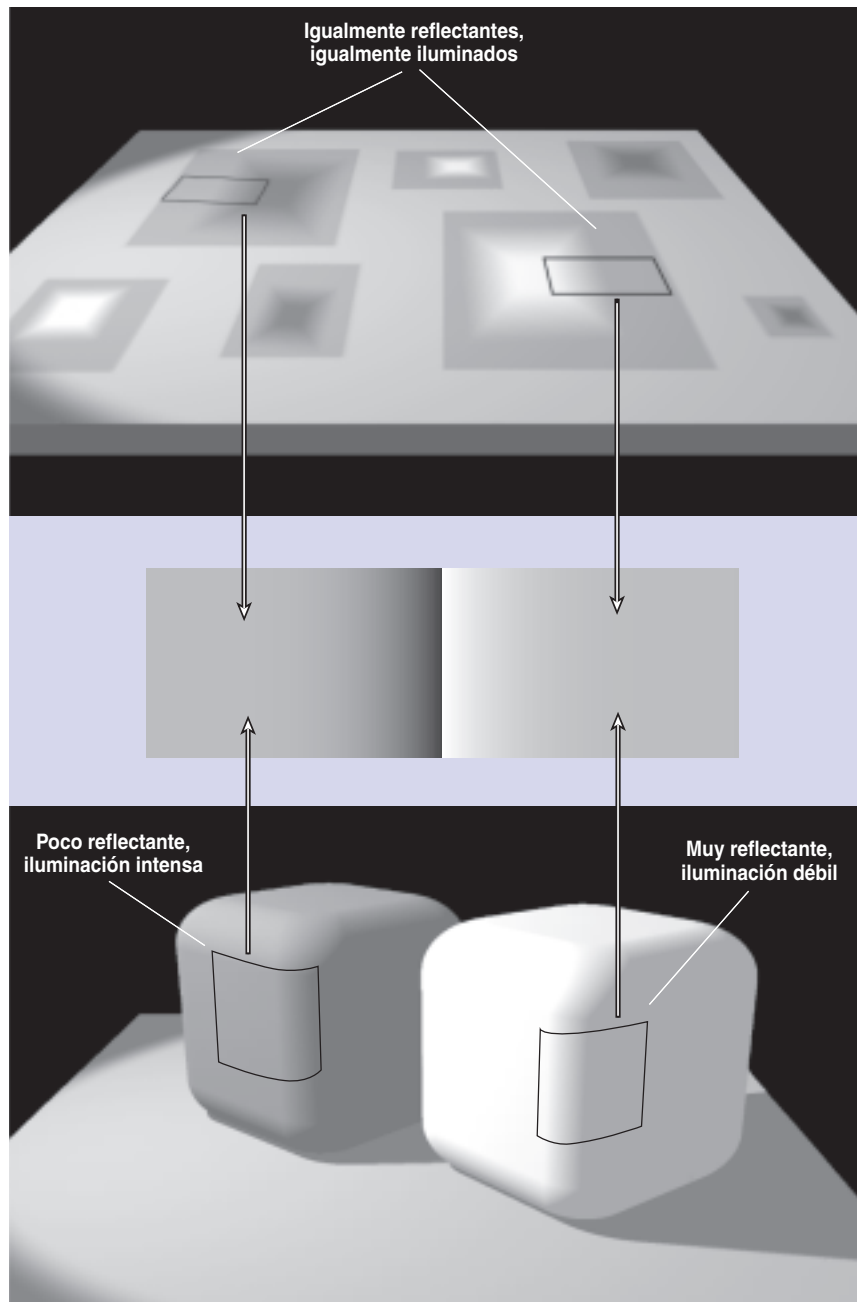
## Visión de los colores

Estos aspectos, un tanto desconcertantes, de las sensaciones suscitadas por la intensidad de luz pueden entenderse como fruto de una estrategia enteramente probabilística de la visión. ¿No se originarían de igual manera las sensaciones cromáticas suscitadas por diferentes espectros de luz? Después de todo, la distribución de potencia

espectral en un estímulo luminoso, que da lugar a las sensaciones de color, es ambigua debido, precisamente, a las mismas razones por las que lo es la intensidad espectral total. La iluminación, la reflectancia y otros factores determinantes de las características de la luz que llega al ojo se entremezclan en la imagen retiniana, y no es posible disociarlas.

Para pensar sobre las sensaciones de color conforme a este planteamiento, tenemos un buen punto de partida en el contraste de colores simultáneos, un fenómeno similar a los efectos de contraste de brillo ya descritos. Dos dianas de igual composición espectral, ubicadas en ambientes coloreados de distinto modo, sirven de estímulo patrón para suscitar el contraste de color. Lo mismo que en el contraste de brillo, las dos dianas parecen diferentes, aunque ahora en lo que se refiere a sus respectivas cualidades de color, a saber, matiz, saturación y brillo de color. En el pasado, la mayoría de las explicaciones de este fenómeno se fundaban en algún tipo de promedio del color extendido a la totalidad del estímulo. Sin embargo, al igual que en el contraste de brillo, así no se explica que los estímulos de contraste de color pueden modificarse de forma que unos mismos promedios cromáticos en el ambiente susciten diferentes percepciones de color.

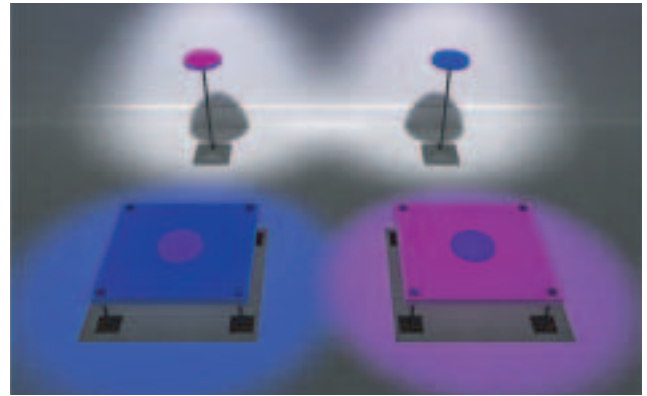
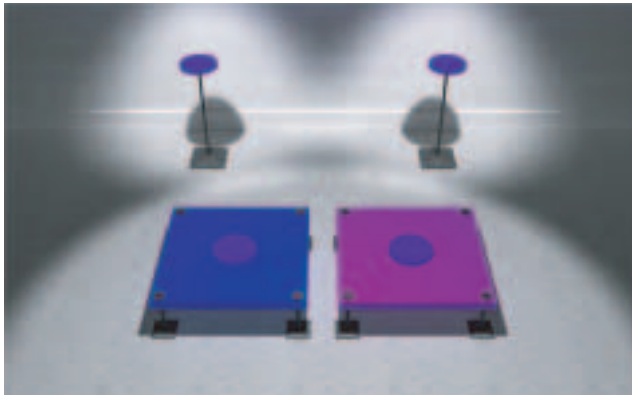
Cabe, no obstante, dar una explicación del contraste de color en términos empíricos. Las fuentes de la diana y del ambiente en los estímulos ordinarios con contraste de color son inciertas: un número infinito de combinaciones de reflectancias e iluminantes —amén de otros factores menos cruciales— puede engendrar unas mismas distribuciones de potencia espectral. Al igual que en el caso de los estímulos acromáticos, el sistema visual podría resolver este dilema por retroalimentación del éxito o fracaso de anteriores respuestas en la conducta a los estímulos espectrales. La percepción suscitada por un estímulo dado estaría así determinada por las frecuencias relativas de aparición en el mundo real de combinaciones de reflectantes e iluminantes que dieron origen, en



**5. PUEDE CREARSE UN ESTIMULO CORNSWEET en diversas situaciones. Tanto la alineación de gradientes derivados de hojas de papel igualmente iluminadas (arriba) como los gradientes de cubos de diferente reflectancia con aristas redondeadas, colocados de modo que una de las caras se encuentre a la luz y la otra en la sombra (abajo), generan el mismo borde de Cornsweet. Los observadores aprecian de nuevo el efecto porque las dos posibles fuentes están incorporadas a la percepción del estímulo ambiguo.**

ocasiones anteriores, a esa distribución de potencia espectral. Puede aplicarse el mismo argumento a un fenómeno asociado, la constancia de color; en ésta, el objeto continúa pareciendo conservar el color a pesar de hallarse bajo iluminantes diferentes.

Si las percepciones de contraste y de constancia de color se generasen de la forma indicada, sería de esperar que una misma diana espectral, sobre dos fondos cromáticamente diferentes, engendrara sensaciones cromáticas diferentes. La razón es que, además de reque-



**6. SE PRODUCE UN CONTRASTE DE COLORES SIMULTÁNEOS** cuando unas mismas superficies, situadas sobre fondos coloreados de distinta forma, parecen ser de distinto color. En este caso, una misma diana cromática tiene apariencia rojiza sobre un fondo azul; más violácea, en cambio, sobre un fondo más rojo (*a la izquierda*). En la ilustración de arriba queda manifiesta la ambigüedad del estímulo, que podría surgir tanto de dianas físicamente idénticas —solas sobre peanas— bajo luces iguales (*arriba, a la izquierda*) pero situadas en ambientes coloreados de distinto modo, como de dianas físicamente diferentes ilu-

minadas con luces de colores distintos (*arriba, a la derecha*). Lo mismo que antes, el contraste de colores simultáneos surge porque el sistema visual incorpora a la percepción estas distintas posibles fuentes de acuerdo con la frecuencia con que ocurrieron en el pasado.

rir conductas apropiadas ante las mismas reflectancias con idéntico iluminante, tales estímulos habrían requerido en otras circunstancias conductas apropiadas a las dianas que surgiesen de diferentes reflectancias con diferentes iluminantes. Por consiguiente, un estímulo espectral debería inducir una sensación que incorporase todas las posibles fuentes subyacentes en proporción a sus pasadas apariciones en la experiencia humana.

Para evaluar los méritos de esta forma de entender las percepciones de color, ideamos un estímulo que recuerda un tanto a un cubo de Rubik. Si los efectos de las diferencias espectrales se atenían a ese principio probabilístico, podríamos generar efectos de contraste y de constancia de color que fueran mucho más llamativos que las ilustraciones habituales que los libros de texto les dedican. Por ejemplo, cuando se hacía que la información de una escena visual donde estaba presente el cubo concordase con una iluminación amarillenta o con una azulada, podía lograrse que teselas de la superficie del cubo que presentaban el mismo tono de gris en un contexto neutral pareciesen azuladas o amarillentas, respectivamente. Esta intervención proporciona un

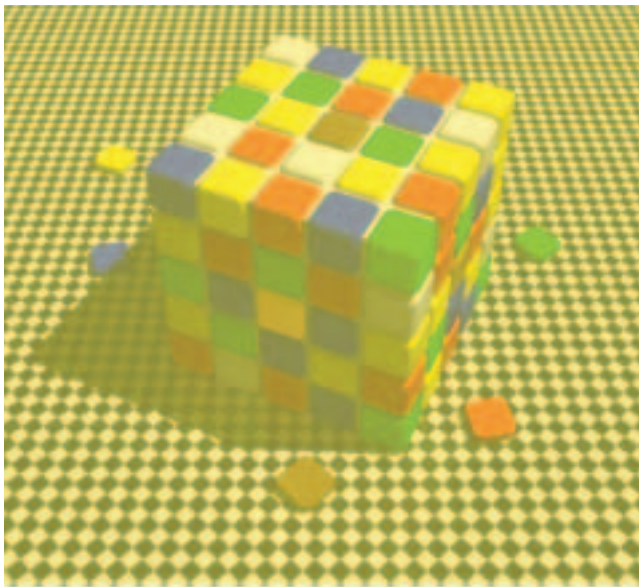
ejemplo de contraste de color que, gracias a la manipulación empírica de la información de la escena, resulta impresionante. Recíprocamente, se podía hacer, mediante una modificación de la probabilidad de sus posibles fuentes, que teselas que parecían tener diferente color en una situación neutra se percibiesen del mismo color: una exhibición, no menos impresionante, de constancia de color. Estas demostraciones no sólo muestran que el contraste y la constancia de color están determinados probabilísticamente, sino también que esos dos efectos, en apariencia opuestos, constituyen manifestaciones de la misma generación empírica de las percepciones visuales.

## Percepción de la geometría de una escena visual

Los investigadores de la visión observaron, hace mucho ya, que la percepción de líneas no siempre concuerda con la geometría real

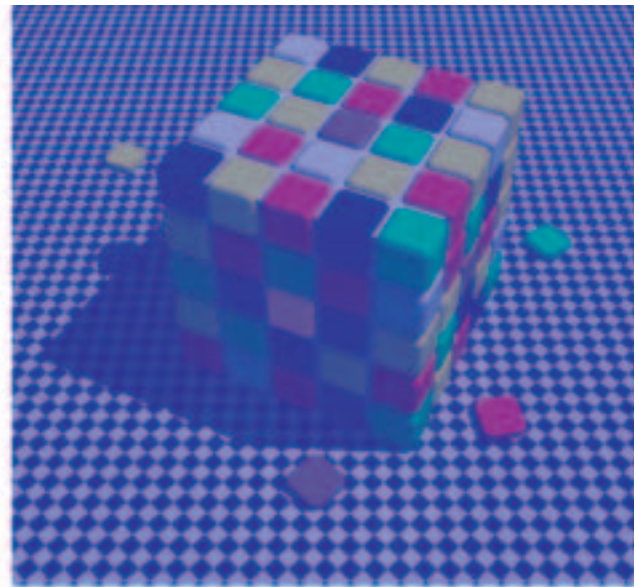
de los objetos subyacentes. Por ejemplo, los ángulos formados por líneas que componen, o dan a entender, un ángulo agudo son vistos como si tuvieran algunos grados más de los que realmente tienen, mientras que los ángulos obtusos se perciben como si tuvieran algunos menos. Pese a las muchas cábalas acerca de esta anomalía formuladas ya desde finales del siglo XIX, no ha habido acuerdo sobre su origen. Nos preguntamos, pues, si estos y otros errores de percepción geométrica no se explicarían con las mismas nociones empíricas que el brillo o el color.

De modo muy similar a la luminancia o la potencia espectral, el estímulo causante del ángulo percibido es profundamente ambiguo. Un ángulo proyectado sobre una superficie —la retina, por ejemplo— puede ser resultado de objetos que tengan una variedad de amplitudes angulares y de longitudes de brazos, dispuestos en una infinidad de posibles orientaciones en el espacio de tres dimensiones. Al interactuar con los objetos que suscitan determinadas proyecciones angulares en



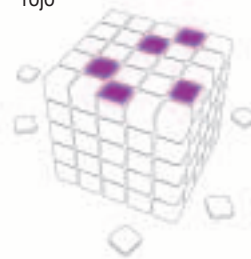
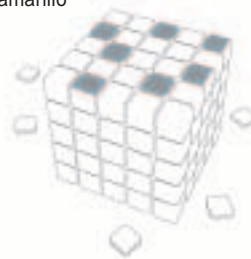
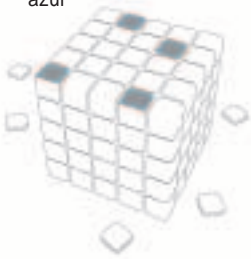
azul

rojo



amarillo

rojo



**7. EL CONTRASTE Y LA CONSTANCIA DE COLOR** surgen de la generación empírica de percepciones visuales. En este ejemplo generado por ordenador, los autores controlaron la información espectral de la escena visual. En las imágenes superiores los cubos se muestran como si estuvieran bajo luz amarillenta (*arriba, a la izquierda*) o azulada (*arriba, a la derecha*). En las imágenes de la parte baja se muestran, fuera de esos contextos, teselas concretas que revisten interés. Las facetas que parecen amarillas representadas como si estuvieran bajo luz azul y las facetas que parecen azules representadas como si estuvieran bajo luz amarilla son,

en realidad, grises, como se indica en los cubos inferiores rotulados "azul" y "amarillo". Se trata de un llamativo ejemplo de contraste de color. Por otra parte, las facetas que parecen rojas representadas como si estuvieran bajo una luz azul o bajo una luz amarilla, corresponden en realidad, ambas, a facetas moradas y anaranjadas, respectivamente, como se indica en los cubos rotulados "rojo". El experimento demuestra la constancia de color. Estos notables efectos hacen ver que se puede lograr que unas mismas dianas parezcan de colores muy diferentes y que colores diferentes pueden parecer iguales si se manipula el contexto.

la retina, los observadores de todos los tiempos habrán experimentado grandes variaciones entre un ángulo dado en la proyección retiniana y los ángulos de sus fuentes en el mundo real. Se trata, además, de variaciones sistemáticas. En consecuencia, sería de esperar que las percepciones suscitadas por diferentes ángulos proyectados sobre la retina se encontraran en correspondencia con estas distribuciones de frecuencia.

Para poner a prueba esta interpretación, necesitábamos en primer lugar determinar la distribución de probabilidad de todas las posibles fuentes tridimensionales de un ángulo proyectado. Cuando se com-

putaron todas estas distribuciones, para todos los ángulos posibles, aplicando los principios de la geometría proyectiva, hallamos que las proyecciones de ángulos agudos proceden habitualmente de fuentes con ángulos mayores que las proyecciones. Recíprocamente, las fuentes de proyecciones en ángulo obtuso están, típicamente, engendradas por fuentes que son algo menores que el ángulo proyectado. Las proyecciones en ángulo recto y las líneas rectas vienen generadas por fuentes que, en promedio, tienen la amplitud angular del propio objeto. Si las percepciones están determinadas empíricamente, el sistema visual debería generar per-

cepciones de ángulos que incorporen y reflejen estos hechos estadísticos de la geometría proyectiva.

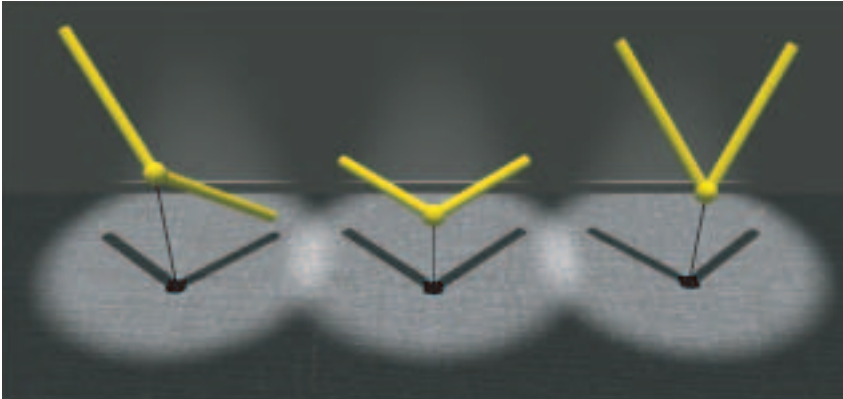
Evaluamos esta predicción solicitando a sujetos experimentales que informasen de sus percepciones de diferentes estímulos angulares en una serie de tests, en los cuales el ajuste de una línea de prueba indicaba la amplitud angular que realmente estaban viendo. Por ejemplo, si el sujeto percibía que el ángulo era mayor de lo que realmente era, la línea de prueba quedaba situada en una posición que revelaría tal discrepancia: no sería plenamente paralela al lado del ángulo. Los resultados deducidos de

estos ensayos encajaban francamente bien con la distribución de probabilidad de las posibles fuentes de los correspondientes estímulos, lo que indicaba que la organización espacial que ven los observadores no

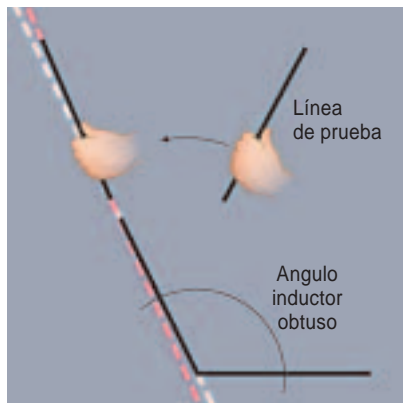
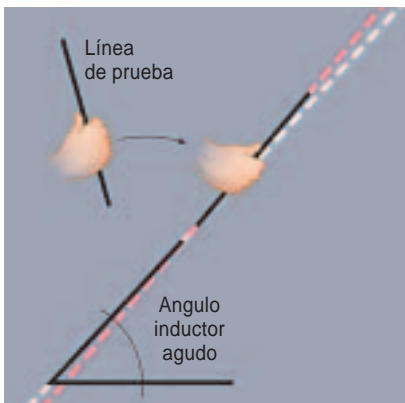
es ni la proyección retiniana ni su fuente real, sino su significado empírico, vale decir, en el pasado.

Tomadas en su conjunto, estas pruebas extraídas de la percepción del brillo, del color y de la dispo-

sición geométrica respaldan que el problema descubierto por Berkeley tiene su solución en que las percepciones visuales se generen a partir de la distribución de probabilidad de las posibles fuentes del estímulo visual, cualquiera que éste sea. Como resultado, los observadores ven más lo que una escena visual significó de ordinario en el pasado, que lo que realmente es en el presente. Vemos lo que vemos, pues, porque la estadística de las experiencias previas es el fundamento en que el sistema visual se asienta para enfrentarse a la ambigüedad inherente en los estímulos visuales.



**8. LA PERCEPCION DE LOS ANGULOS** no se corresponde normalmente con los ángulos de los objetos subyacentes. La proyección de un ángulo sobre una superficie, la de la retina por ejemplo, puede tener origen en una multitud de ángulos y de longitudes de sus brazos, dispuestos en una infinidad de orientaciones en el espacio tridimensional. Los tres objetos angulares aquí mostrados tienen aperturas de 120 grados (*izquierda*), 90 grados (*centro*), y 60 grados (*derecha*), y brazos de diversas longitudes, pero es posible situarlos de modo que tengan proyecciones idénticas, como se aprecia por sus sombras.



**9. ERRORES SISTEMATICOS EN LA ESTIMACION DE ANGULOS.** La distribución (estadística) de fuentes, para todos los ángulos posibles, revela que las proyecciones de los ángulos agudos suelen provenir de fuentes cuyos ángulos son mayores que sus proyecciones, mientras que las proyecciones de los ángulos obtusos están, en promedio, generadas por fuentes de amplitudes algo menores que el ángulo proyectado. El sistema visual debería incorporar estos hechos estadísticos. Para comprobarlo, los autores pidieron a voluntarios que superpusieran una línea de prueba sobre uno de los lados de un "ángulo inductor". Cuando el ángulo inductor era agudo (*izquierda*), los sujetos orientaron la línea de prueba como si el ángulo inductor fuera mayor de lo que realmente era. Con un ángulo obtuso (*derecha*), los sujetos la orientaban como si el ángulo inductor fuese menor que el real. En conjunto, los resultados reflejaban la distribución de probabilidad de las posibles fuentes de estímulo. Lo mismo que en la percepción de brillo y de color, quedó claro que los ángulos que vemos están basados en el significado empírico de los estímulos, no en sus dimensiones físicas.

### Bibliografía complementaria

THE INFLUENCE OF DEPICTED ILLUMINATION OF PERCEIVED BRIGHTNESS. S. M. Williams, A. N. McCoy y D. Purves, en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 95, págs. 13.301-13.306; 1998.

AN EMPIRICAL EXPLANATION OF BRIGHTNESS. S. M. Williams, A. N. McCoy y D. Purves, en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 95, págs. 13.301-13.306. 1998.

THE EFFECTS OF COLOR ON BRIGHTNESS. R. B. Lotto y D. Purves, en *Nature Neuroscience*, vol. 2, págs. 1010-1014; 1999.

AN EMPIRICAL EXPLANATION OF THE CORNSWEET EFFECT. D. Purves, A. Shimpi y R. B. Lotto, en *Journal of Neuroscience*, vol. 10, págs. 8542-8551; 1999.

AN EMPIRICAL EXPLANATION OF COLOR CONTRAST. R. B. Lotto y D. Purves, en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 97, págs. 12.834-12.839; 2000.

WHY ARE ANGLES MISPERCEIVED? S. Nundy, R. B. Lotto, D. Coppola, A. Shimpi y D. Purves, en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 97, n.º 10, págs. 5592-5597; 2000.

WHY WE SEE THINGS THE WAY WE DO: EVIDENCE FOR A WHOLLY EMPIRICAL STRATEGY OF VISION. D. Purves, R. B. Lotto, S. M. Williams, S. Nundy y Z. Yang, en *Philosophical Transaction of the Royal Society of London B*, vol. 356, págs. 285-297; 2001.

A RATIONALE FOR THE STRUCTURE OF COLOR SPACE. R. B. Lotto y D. Purves, en *Trends in Neuroscience*, vol. 25, págs. 84-88; 2002.