

¿Pueden dos personas ver el mismo arcoíris?

Juan Segurola · Todos los derechos reservados

QUE · Artículo 004 · Preguntas sencillas, respuestas profundas · Versión 0.1 ES

Dos personas que están juntas señalan un arco sobre el mismo paisaje. Llamarlo «el mismo arcoíris» es perfectamente razonable: comparten un chubasco, una iluminación y un patrón reconocible. Pero no reciben rayos idénticos en posiciones idénticas. La pregunta se vuelve más interesante cuando distinguimos un acontecimiento atmosférico compartido de la luz que llega a cada observador.

Un arcoíris no es un objeto de colores suspendido a una distancia fija, como un aro pintado. Es un patrón en las direcciones desde las que la luz llega a un observador. Su posición depende de la geometría que conecta la luz solar, las gotas de agua y ese observador [1]. Esa dependencia es física y predecible. No significa que las personas puedan colocar los arcoíris donde quieran.

1. ¿Qué se comparte y qué cambia?

La lluvia y la luz solar pueden ser comunes a ambos observadores. Sin embargo, sus ojos ocupan posiciones diferentes. Una gota envía luz en un intervalo de direcciones, con una distribución estructurada de intensidad y longitud de onda. Desplazar el punto receptor cambia qué direcciones de salida conectan las gotas con el ojo.

Sería excesivo afirmar que ninguna gota puede contribuir jamás a ambas vistas. El Sol tiene un tamaño angular finito, las gotas dispersan en intervalos angulares y los arcos naturales tienen una anchura finita. La afirmación sólida es que los dos observadores no reciben el mismo haz de rayos. Los conjuntos de gotas que contribuyen a sus vistas pueden solaparse sin ser idénticos.

También debemos distinguir el patrón angular del fondo. Puede parecer que un arcoíris termina en un árbol porque su arco se superpone con él en la dirección de observación. El árbol no está necesariamente donde se encuentran las gotas pertinentes, y caminar hacia él no convierte la superposición aparente en un extremo físico fijo.

2. Cómo selecciona direcciones una gota

Para el arcoíris primario, la construcción elemental con rayos incluye refracción al entrar en una gota, una reflexión interna y refracción al salir. La refracción cambia la dirección en la frontera porque el índice de refracción difiere entre el agua y el aire. Su dependencia con la longitud de onda separa las distribuciones angulares de los colores [1].

No todos los rayos salen con el ángulo del arcoíris. Un haz de rayos incidentes paralelos alcanza una gota esférica a distintas distancias de su centro. Las direcciones de salida varían con ese parámetro de impacto. Cerca de una dirección concreta, la desviación cambia especialmente despacio. Muchos rayos incidentes próximos contribuyen entonces a una región angular de salida relativamente estrecha. Esa concentración explica el arco primario brillante en la óptica geométrica.

Podemos hacer explícita la construcción sin tratar 42° como una constante universal. Sean i el ángulo de incidencia y r el de refracción, ambos medidos desde la normal local a la superficie. Para aire aproximado por un índice de refracción de 1 y una gota esférica homogénea con índice relativo n , la ley de Snell es $\sin i = n \sin r$. Con una reflexión

interna, la desviación es $D = \pi + 2i - 4r$. El radio angular del arco alrededor de la dirección antisolar es $\alpha = \pi - D$.

En la desviación estacionaria, la derivación da $2 \cos i = n \cos r$ y, por tanto, $\cos^2 i = (n^2 - 1)/3$. Elegir el índice ilustrativo $n = 4/3$ da $i \approx 59,4^\circ$, $r \approx 40,2^\circ$ y $\alpha \approx 42,0^\circ$. Es un cálculo ideal para un índice especificado, no un ángulo universal medido ni una afirmación de que el agua tenga exactamente ese índice en todas las longitudes de onda.

3. Dónde interviene el observador

La dirección antisolar apunta directamente en sentido opuesto al Sol visto desde el observador. Un conjunto de direcciones que forman aproximadamente el mismo ángulo con ese eje forma un cono cuyo vértice está en el observador. El arco primario es el patrón circular brillante asociado a esas direcciones, allí donde hay gotas iluminadas adecuadas.

Para la luz solar lejana, los observadores próximos tienen ejes antisolares casi paralelos, pero los vértices de sus conos de observación están desplazados. Por ello, difieren las trayectorias seleccionadas a través del chubasco. En una lluvia suficientemente extensa y bastante uniforme, ambos pueden ver arcos muy parecidos. Con lluvia irregular o iluminación cambiante, uno puede ver un segmento que el otro no ve.

El arco familiar es parte de un círculo posible. La porción visible depende de dónde estén las gotas y de la obstrucción por el suelo u otros objetos. La NOAA señala que desde un avión puede verse un arcoíris circular completo en condiciones adecuadas [1]. La geometría proporciona las direcciones posibles; no garantiza que todas contengan una gota iluminada.

4. Qué deja fuera un dibujo de rayos

La construcción sencilla predice la concentración angular principal, pero no describe toda la estructura fina. La luz también es una onda. La interferencia y la difracción afectan a la intensidad detallada alrededor del arco, incluidas las bandas adicionales conocidas como arcos supernumerarios. El tamaño de las gotas importa al comparar esas características.

El tratamiento de Airy describe el comportamiento ondulatorio cerca de la concentración del arcoíris. La dispersión de Mie proporciona un tratamiento electromagnético para una esfera homogénea ideal. No son realidades rivales. Describen la misma interacción con distintos niveles de aproximación, y el propio modelo esférico tiene límites al aplicarse a gotas deformadas o de composición compleja.

El resumen de Lee señala que, para los arcos de nubes y de niebla, integrar sobre distribuciones realistas de tamaños de gota reduce la mayoría de las diferencias perceptibles entre las predicciones de Airy y Mie [2]. Esto se refiere al color y la luminancia percibidos, no a una identidad numérica en todas las longitudes de onda.

Por tanto, una buena concordancia con una fotografía no tiene por qué identificar una distribución única de gotas. La respuesta de la cámara, la exposición, la iluminación y la mezcla de tamaños pueden afectar al registro. A la inversa, una pequeña diferencia numérica en una longitud de onda no tiene por qué producir una diferencia visible en el arco natural. Una afirmación sobre rayos, otra sobre un espectro y otra sobre la apariencia requieren comparaciones distintas.

5. ¿Qué se mediría?

Una imagen calibrada angularmente puede situar el arco respecto a la dirección antisolar. Las mediciones espectrales pueden resolver cómo varía la intensidad con la longitud de onda. Las mediciones del chubasco pueden restringir los tamaños y las posiciones de las gotas. Estas observaciones abordan partes distintas de la explicación; ninguna fotografía aislada proporciona todas ellas.

Una prueba útil con dos observadores registraría sus posiciones, la dirección solar y la hora, en vez de comparar dos imágenes sin calibrar tomadas bajo condiciones cambiantes. La concordancia de los radios angulares respaldaría la geometría óptica común. Las diferencias en los segmentos visibles podrían reflejar la distribución de lluvia o la obstrucción sin implicar una discrepancia sobre la ley física.

El cálculo ideal anterior no puede determinar la distancia hasta «el arcoíris». Contiene un ángulo y un índice de refracción, no una distancia medida hasta un objeto único. Reconstruir la distribución tridimensional de las gotas que contribuyen requeriría información adicional. Una posición angular, por sí sola, no establece un extremo fijo sobre el suelo.

6. Un fenómeno dependiente del observador y, aun así, compartido

La respuesta es sí si «el mismo» se refiere a un acontecimiento atmosférico compartido y a su correspondiente patrón óptico. Es no si exige rayos recibidos idénticos. Ninguna respuesta debería borrar la distinción que hace útil la pregunta.

La posición del observador es una condición de contorno del problema óptico, no una fuerza misteriosa que actúa sobre el tiempo atmosférico. Otra persona o una cámara en una posición especificada puede registrar un patrón regido por la misma geometría. Las gotas no necesitan ser conscientes de que alguien las mira.

Lo que está firmemente establecido es la conexión entre la óptica de las gotas y el patrón angular. Lo que queda por especificar para un acontecimiento individual incluye la distribución de gotas, la iluminación y la geometría de observación necesarias para predecir los detalles finos. Podemos explicar por qué dos personas comparten un arcoíris reconocible mientras reciben luz diferente, sin fingir que el patrón es un objeto fijo pintado o una creación privada de cada mente.

Lectura relacionada

IDE-023 trata la observación y KNO-018 la visualización. Son lecturas conceptuales complementarias opcionales; el argumento de este artículo se refiere a la geometría específica de un arcoíris.

Referencias

[1] NOAA NESDIS. What Causes a Rainbow?

<https://www.nesdis.noaa.gov/about/k-12-education/optical-phenomena/what-causes-rainbow>

[2] Lee, R. L. Mie theory, Airy theory, and the natural rainbow. *Applied Optics* 37, 1506–1519 (1998).

<https://doi.org/10.1364/AO.37.001506>