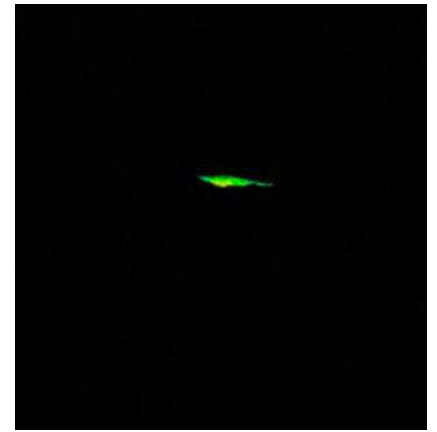
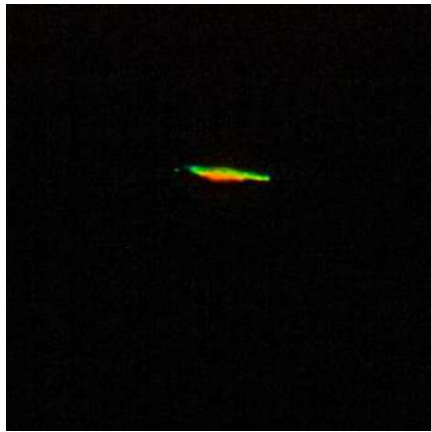
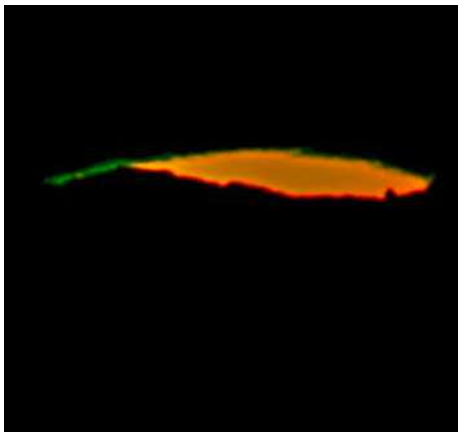
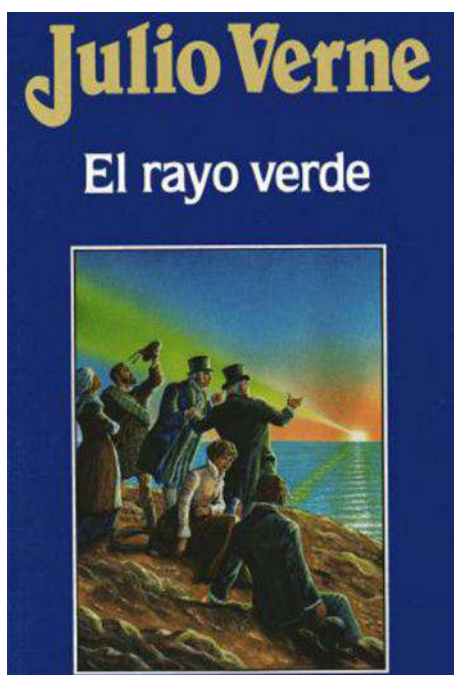


EL RAYO VERDE

David Galadí, M. Carmen Botella, Encarna Angosto y R. Moreno



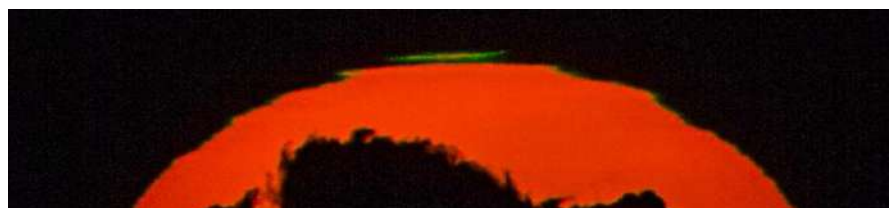
En este artículo se explica qué es el rayo verde, se propone un modelo para entenderlo, y se discute el orden de los colores en la refracción y dispersión que se produce en la atmósfera. Al final hay unas indicaciones de Federico Fernández Porredón sobre las fotos suyas que se incluyen en el artículo.



Julio Verne publicó una novela en 1882 titulada El rayo verde. En ella se popularizó y se comenzó a mitificar este fenómeno que se describe como “un verde maravilloso que ningún pintor puede obtener en su paleta, el verdadero verde de la Esperanza”

Una vieja leyenda escocesa decía que este rayo tiene la virtud de hacer que aquel que lo ha visto no pueda jamás equivocarse en las cosas del corazón, de ahí que la protagonista de la novela afirme que no se casará nunca hasta haberlo visto.

Entonces, ¿es real el rayo verde? Por supuesto, aunque parte de su mitificación simplemente reside en que no es fácil verlo y que es un fenómeno que dura como máximo unos segundos.



¿QUÉ NECESITAMOS PARA PODER VERLO?

En primer lugar, es importante no tener ninguna alteración en la visión que nos impida ver el color, nuestros ojos deber ser capaces de distinguir el color verde. No es ninguna nimiedad, ya que una persona daltónica podría ver una puesta de Sol con un intenso rayo verde y no apreciar ninguna diferencia con cualquier otra.

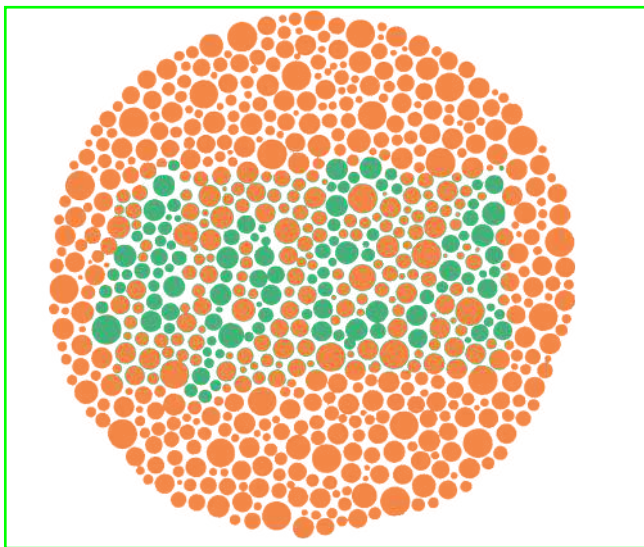


Fig 1 Si no consigues leer las 4 letras, no podrás ver el rayo verde

Nuestra retina tiene unas células fotorreceptoras llamadas conos que solo responden a longitudes de ondas específicas que corresponden al rojo, verde y azul. La combinación de ellos nos hace ver todo el espectro cromático.

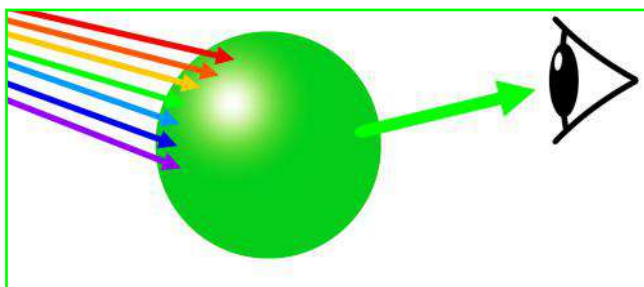


Fig 2 La luz blanca contiene todos los colores

Si un objeto refleja la longitud de onda correspondiente al verde hasta un ojo normal, ese ojo verá el objeto de color verde (Fig 2).

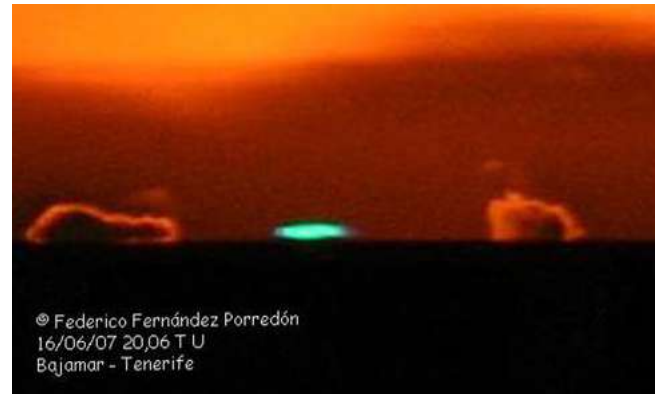


Fig 3 En este caso, rayo azul

En segundo lugar, necesitamos unas condiciones atmosféricas adecuadas, un horizonte despejado y un poco de suerte. Al ser un fenómeno tan fugaz, cualquier mínimo imprevisto puede hacer que nos lo perdamos.

En resumen, para poder ver un rayo verde solar, debe llegar hasta nuestros ojos una “luz verde” procedente del Sol.

Como sabemos, la luz del Sol contiene todos los colores del espectro visible, así que veamos qué debe ocurrir para conseguir aislar el verde del resto de colores.

Vamos a realizar un experimento que simule las condiciones que nos permiten contemplar este fenómeno y ayudar a su comprensión, aumentando así nuestras posibilidades de éxito en las observaciones.

MONTAJE DEL MODELO

Necesitamos una fuente de luz blanca que simule la luz solar (proyector o linterna). Para conseguir un haz fino haremos pasar la luz por un pequeño agujero. En nuestro ejemplo utilizamos un proyector de diapositivas y una diapositiva opaca con un pequeño agujero en el centro (Fig 4). También se puede hacer con una ranura, pero el efecto se parecerá menos al real.



Fig 4 Diapositiva con orificio

Posteriormente dispersaremos la luz blanca con un prisma, que proyectará en una pantalla todos los colores del espectro visible (Fig 5).

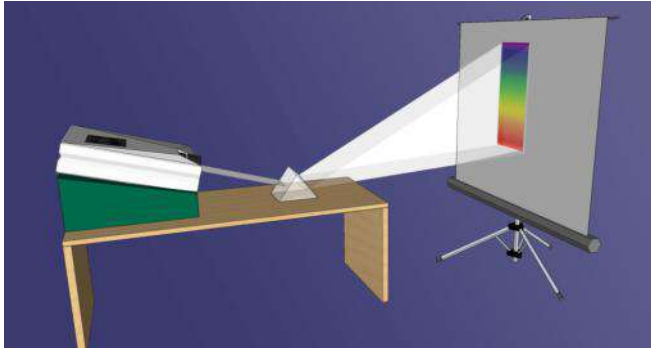


Fig 5 Dispersamos la luz blanca con un prisma

La parte superior del espectro, correspondiente a los azules, es esparcida de forma natural por nuestra atmósfera. Esos fotones azules parecen llegar a nuestros ojos desde todas direcciones y es la razón por la que vemos el cielo diurno de ese color.

Para simular el esparcimiento (*scattering*), interpondremos un recipiente de paredes transparentes con agua (Fig 6), a la que

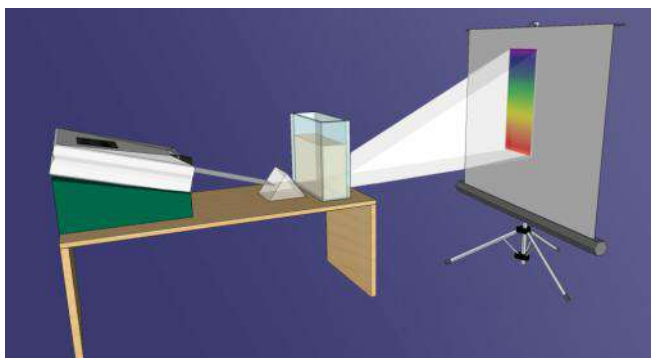


Fig 6 Ponemos un recipiente con agua

añadiremos unas gotas de leche (Fig 7). Esto nos permitirá observar dos efectos. Por un lado, veremos que el líquido se torna azulado, algo similar a lo que ocurre en el cielo y por otro lado, comprobaremos que los fotones azules desaparecen de la pantalla. Si siguiéramos añadiendo gotas de leche apreciaríamos que también desaparecerán los verdes. Esto es lo que usualmente ocurre en una puesta de Sol en la que no se vea el rayo verde.

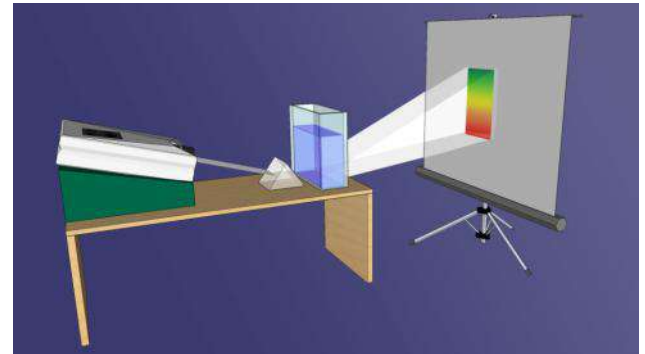


Fig 7 Añadimos al agua unas gotas de leche y el azul desaparece

Por tanto, si las condiciones atmosféricas son las adecuadas para que solo se hayan esparcido los azules, lo único que necesitamos para aislar el color verde del resto de colores del espectro electromagnético es esperar a que la Tierra los “tape” con su rotación.

Para conseguir este efecto, subiremos lentamente un globo terráqueo (Fig 8), simulando la puesta de sol, y comprobaremos que, durante los instantes finales, la luz verde queda aislada produciendo nuestro ansiado rayo verde.

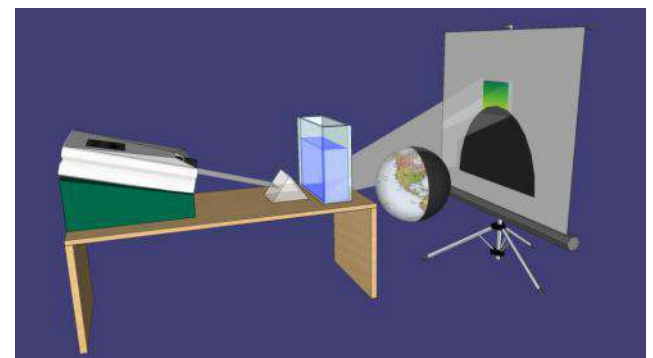


Fig 8 La Tierra tapa parte del espectro aparece el rayo verde

Exactamente el mismo efecto ocurre al amanecer. Podemos simularlo tapando completamente la luz y deslizando nuestra Tierra hacia abajo. El primer rayo de luz que se verá es un rayo verde.

Y ahora, ¿a qué esperas para salir a observarlo?

REFRACCIÓN ASTRONÓMICA, LOS COLORES ¡BOCA ABAJO!



A consecuencia del experimento anterior del rayo verde, se despertó un debate muy interesante. Cuando la luz procedente del Sol, de los planetas o de las estrellas se dispersa en nuestra atmósfera, los azules quedan arriba y los rojos abajo. Esto es un hecho empírico. Si esto no fuera así sería imposible ver el fenómeno del rayo verde pero ¿a qué se debe?

Siempre que buscamos imágenes sobre la dispersión de la luz nos muestran los rojos

arriba, correspondientes a las longitudes de onda que menos se curvan (Fig. 9). ¿No cabría esperar en un atardecer o amanecer que los azules se curvaran más y por tanto, se vieran más abajo?

Como sabemos, la luz de los astros al incidir sobre la atmósfera cambia de medio de propagación y se desvía, se refracta hacia abajo, y esto hace que la posición aparente de las estrellas o de cualquier otro astro esté siempre algo más levantada, por encima de la posición real o verdadera.

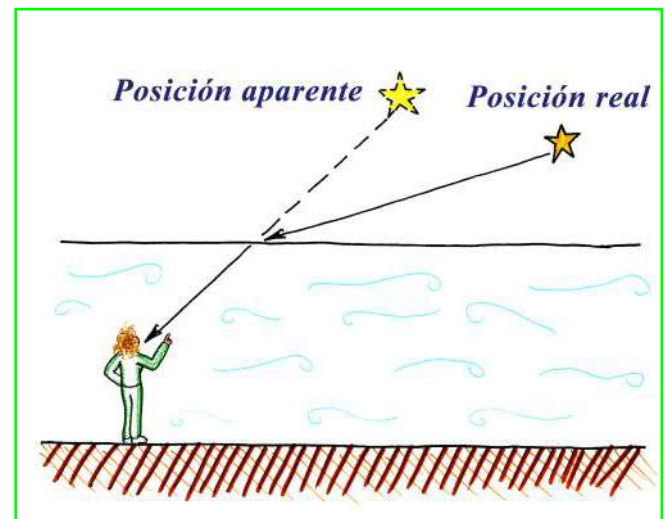
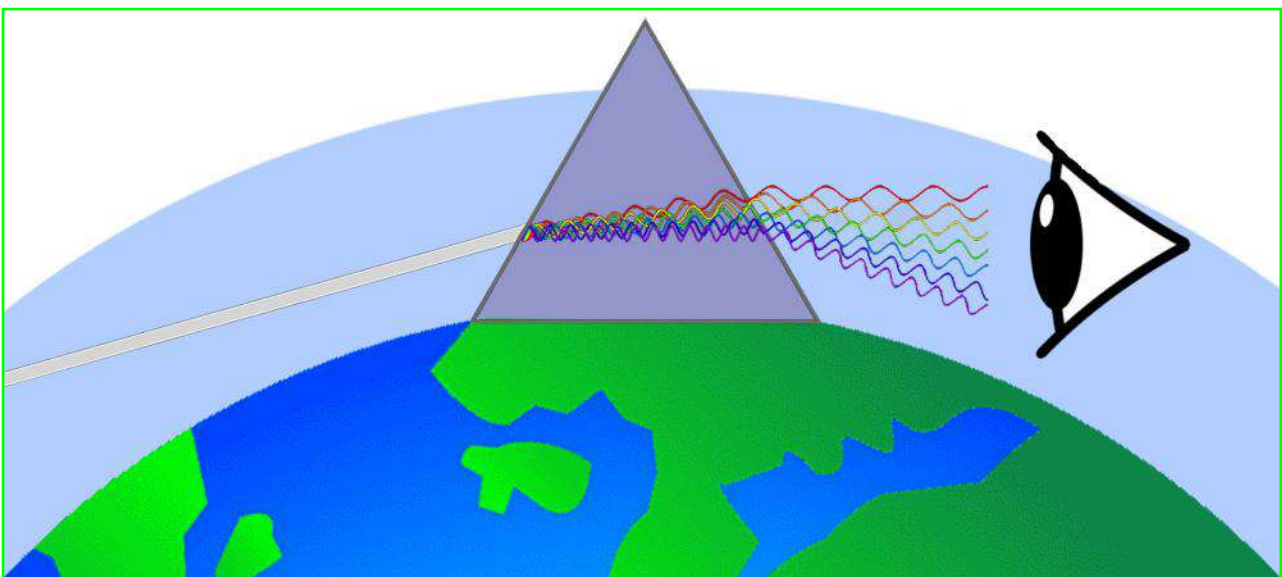


Fig. 10 La posición aparente de una estrella y su posición real

Fig. 9 La dispersión de la luz pone a los rojos encima, y los azules debajo. Parece contradecir nuestro modelo.



Pero al cambiar de medio, la luz no solo se refracta sino que también se dispersa. El hecho de que el índice de refracción dependa de la longitud de onda, se traduce en que la luz blanca se descompone en colores.

Este efecto es mucho más acusado cuando el objeto observado se encuentra más cerca del horizonte y su luz tiene que atravesar más capas de atmósfera.

En medios de dispersión normal, como el vidrio, el agua o el aire, la luz violeta, azul y verde es la que más se refracta, mientras que los colores anaranjados y rojos se refractan menos.



Fig. 11 El violeta y el azul se desvían más que el rojo

Si la luz de los astros debe descomponerse en colores al pasar del espacio a la atmósfera, los cuerpos celestes se deberían mostrar no como un simple punto, sino como un espectro sobre el cielo.

Teniendo en cuenta que la luz violeta y azul es la que más se refracta, y la luz roja la que menos, ¿qué apariencia deberían tener esos espectros?

Un objeto puntual, como una estrella, se tiene que convertir en un pequeño espectro vertical sobre el cielo. Al ir la luz azul y violeta hacia abajo, ¿veremos estos colores abajo en la imagen estelar aparente, o serán los tonos rojos los que ocupen la posición inferior?

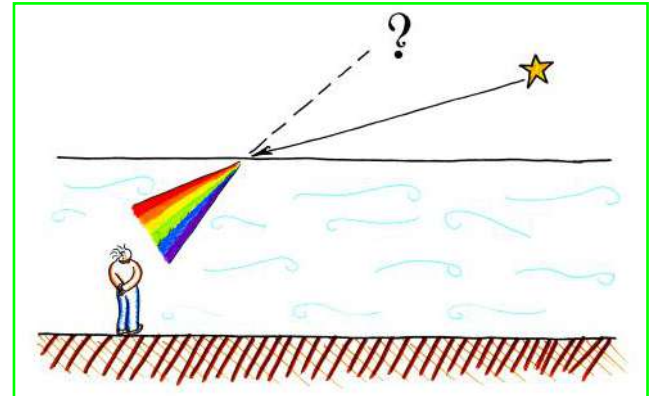
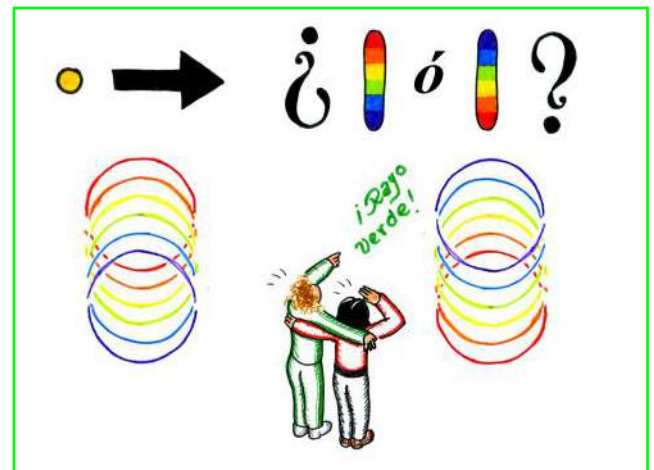


Fig. 12 ¿Cómo será el espectro de una estrella?

Lo mismo se puede decir del Sol. Podría pensarse que el azul debería verse abajo, mientras que el limbo solar superior debería mostrarse rojo.



Para que la explicación habitual del rayo verde funcione hace falta que los tonos rojos se sitúen abajo, y los de longitud de onda corta arriba. Al desaparecer el violeta y el azul por esparcimiento de Rayleigh, el limbo superior se volvería verde y, al ser el último trozo que se oculta al atardecer, causaría el rayo verde como hemos visto anteriormente.

Para salir de dudas, preparamos el siguiente experimento. Utilizamos una pecera inclinada que posteriormente llenamos de agua. Colocamos una cámara en la parte inferior que

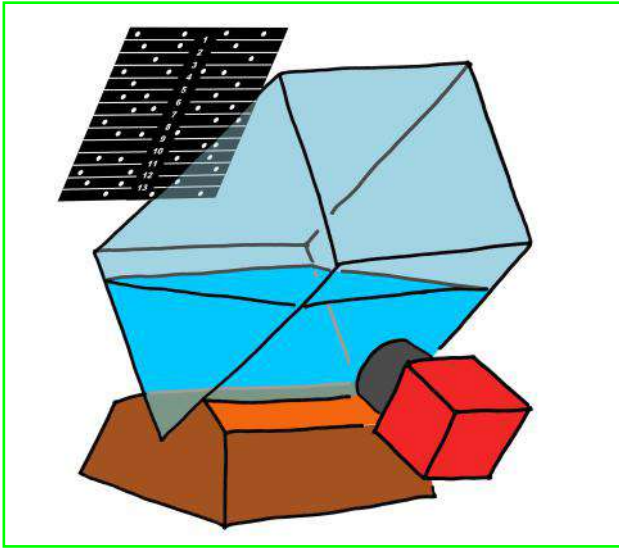


Fig. 14 Cámara, pecera con agua e imagen de alto contraste con números, rayas y círculos blancos.

simula un observador dentro de la atmósfera, y apuntando (Fig 14) a una imagen con números, rayas y círculos en blanco y negro, situada en la parte exterior, que simula la luz blanca que nos llega del Sol o de las estrellas desde fuera de la atmósfera.

Las imágenes obtenidas por la cámara antes y después de añadir el agua en la pecera (la atmósfera), son las siguientes:

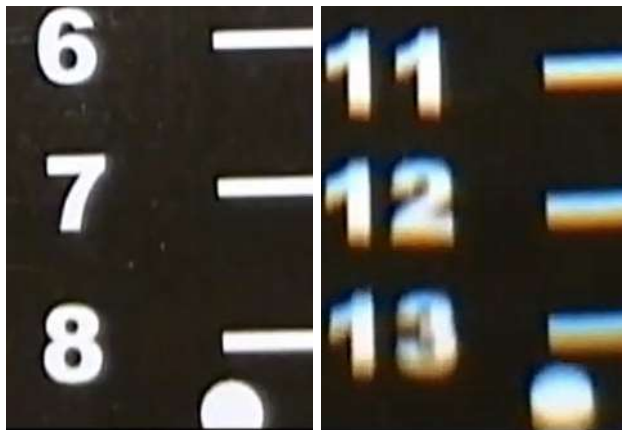


Fig. 15 Antes y después de echar agua en la pecera. Ni la cámara ni el papel se han movido. El orden en los colores en los bordes de las zonas blancas es arriba los azules, debajo los amarillos y rojos. Además, comprobamos que la posición aparente de los números ha cambiado: se han desplazado hacia arriba.

El experimento no deja margen para la duda: los bordes superiores de los objetos blancos se ven de tonos azulados, mientras que los bordes inferiores aparecen rojizos. En los astros vistos a través de la atmósfera, el azul y el verde están arriba y el rojo abajo.

La explicación es sencilla. La misma refracción astronómica que desvía la luz hacia abajo y hace que los astros se vean más altos (nótese en el experimento cómo sube la numeración que se observa), hace que los colores que se “tuercen” hacia abajo con más ángulo (violetas y azules) se vean más elevados, (Fig 16 y 17) por eso el azul nos aparece arriba en los espectros y el rojo abajo.

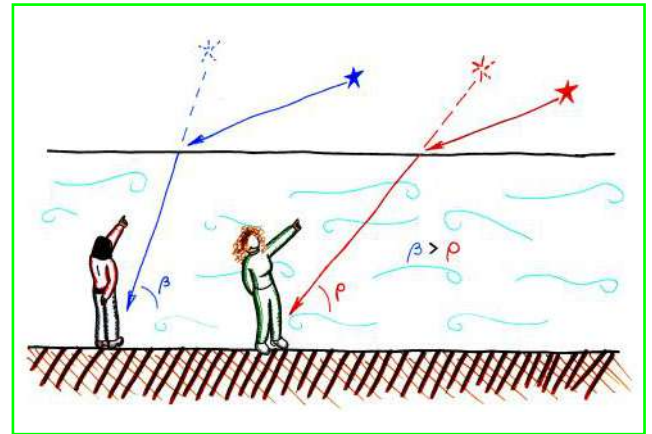


Fig. 16 Los azules se desvían más, y nos parecen venir de más alto que el rojo

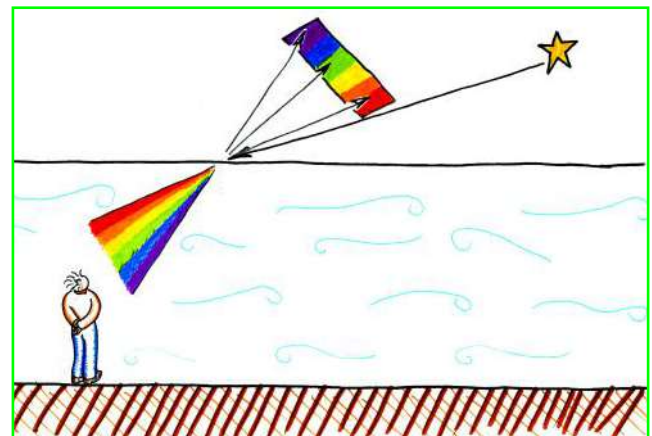


Fig. 17 El orden de los colores que vemos es azul arriba, y rojo abajo

En conclusión, la refracción astronómica eleva la posición aparente de todos los cuerpos celestes, pero a la vez la dispersión los convierte en “espectritos” con el azul y violeta arriba y el rojo abajo.

Volviendo al rayo verde, el limbo aparente del Sol tiene la luz roja abajo y la luz de

longitud de onda más corta arriba. De otra forma, sería imposible poder observar un fenómeno como el rayo verde.

Cuanto más se desvía la luz hacia abajo, ¡más arriba se ve! La refracción astronómica pone los colores ¡boca abajo!

LA VISIÓN DEL FOTÓGRAFO

El autor de todas las estupendas fotografías reales del rayo verde que aparecen en este artículo y en la portada de la revista, es Federico Fernández Porredón, socio y expresidente de ApEA. Ha usado una cámara Canon 60DA, con un objetivo Sigma de 500 mm de focal. Están tomadas desde Bajamar-Tenerife.

Su visión del fenómeno va en la línea de lo que se explica en el artículo:

"El Sol, al ponerse o al salir, atraviesa un enorme espesor de estratos atmosféricos a distintas temperaturas. Eso hace que su luz sufra múltiples refracciones. Los fotones de mayor longitud de onda (rojos) son los que se desvían menos, y por tanto se ocultan prácticamente cuando lo hace realmente el Sol, pero los de menor longitud de onda (verdes y azules) se desvían más y se ven incluso cuando el Sol ya está por debajo del horizonte. Así que, si se dan determinadas condiciones de transparencia atmosférica, es posible ver los fotones verdes, de menor longitud de onda, y en raras ocasiones los azules, menos abundantes aún porque la atmósfera se encarga habitualmente de esparcirlos, y que se ocultan una fracción de segundo más tarde".