

Titilar

Por Dr. Guillermo Abramson, Centro Atómico Bariloche, CONICET e Instituto Balseiro.
g.abramson@gmail.com, guillermoabramson.blogspot.com

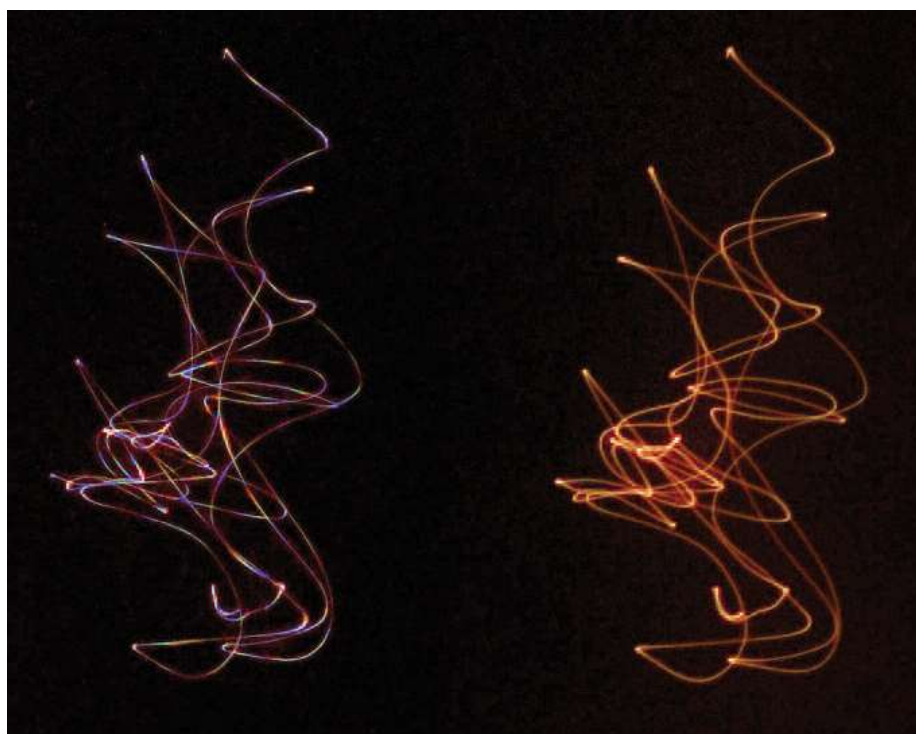
*Twinkle, twinkle, little star,
How I wonder what you are,
Up above the world so high,
Like a diamond in the sky.*

Es una canción de cuna muy conocida en inglés: *Brilla, brilla estrellita / Me pregunto qué serás / Tan alta sobre el mundo / Como un diamante en el cielo*¹. Un diamante, que brilla con luces multicolores como una estrella titilando. Como *Lucy in the sky with diamonds*, también. El propio Tycho Brahe comparó su *Stella Nova*² con un diamante. La comparación de las estrellas titilantes con los fluctuantes reflejos internos de los diamantes es un tema recurrente en la cultura, como se ve.

TODO EL MUNDO SABE QUE LAS ESTRELLAS TITILAN. Mucha gente, además, sabe que los planetas no titilan, y saben usar este hecho para identificar los planetas a simple vista en el cielo nocturno. En ocasiones un planeta se acerca mucho a una estrella de brillo similar y nos da una rara oportunidad de capturar fotográficamente el fenómeno. La figura muestra una conjunción del planeta Saturno con la estrella Spica (la Espiga en manos de Virgo), brillando ambos casi con la misma magnitud. La técnica está explicada en el epígrafe de la imagen. ¿Qué es lo que vemos allí? Lo que vemos es, justamente, el titilar de la estrella y el no titilar del planeta. Como la exposición es larga (seis segundos), a medida que pasa el tiempo la imagen de la estrella se mueve por la foto. Así que vemos sus cambios temporales de brillo y de color extendidos a lo largo de la traza. La imagen de Saturno hace el mismo recorrido, pero su brillo se mantiene prácticamente constante y no cambia de color. La estrella titila, el planeta no.

¿Por qué titilan las estrellas y los planetas no?

Se trata de un fenómeno conocido desde la Antigüedad, y durante siglos se creyó que era una ilusión óptica. Aristóteles en su libro *Sobre el Cielo* decía que los planetas no titilan porque están



Guillermo Abramson

Saturno y Spica, el 21 de febrero de 2012. Se trata de una fotografía astronómica inusual, que rompe con la prescripción tradicional de seguir el movimiento del cielo con toda precisión. La foto está tomada con la cámara en la mano, sin preocuparse en absoluto de mantenerla estable. Más bien todo lo contrario. Hay que usar un teleobjetivo adecuado para que ambos, planeta y estrella, quepan juntos en la misma foto. Se hace un disparo prolongado, de varios segundos, y por el temblor de la cámara ambos dejan exactamente las mismas trazas caóticas.

cerca y nuestra visión los alcanza sin problema, mientras que las estrellas están muy lejos y la vista flaquea para alcanzarlas. Es una explicación basada en un mecanismo de la visión incorrecto pero habitual de su época. Se

creía que la visión funcionaba al revés de como realmente lo hace, con “algo” que salía de los ojos a “tantear” el objeto observado. Análogo al tacto, pero con dedos invisibles.

El primero en sostener que no era una

ilusión sino un verdadero fenómeno fue Johannes Kepler, gran innovador de la Óptica y descubridor de las leyes del movimiento planetario en el siglo XVII. Y fue Isaac Newton quien lo explicó correctamente en su tratado de Óptica. Newton dice que la causa del titilar de las estrellas es el temblor del aire. Y agrega que para instalar un telescopio, lo mejor sería ponerlo en una montaña alta (tal como hacemos actualmente, pero que se empezó a hacer recién a fines del siglo XIX, por razones logísticas). Nada dice sobre los planetas. Hoy en día conocemos el mecanismo responsable. Lo explicaremos en palabras, y los más inclinados a la matemática pueden revisar los cálculos que mostramos aparte, en la página 7.

Los rayos de luz que vienen de las estrellas viajan casi inalterados por el vacío interestelar durante milenios. Apenas en el último centésimo de segundo de su largo viaje tienen que atravesar la delgada capa de aire que envuelve nuestro planeta. El aire, aunque tenue, refracta la luz como si se tratara de una lente.

En la atmósfera hay regiones de distinta temperatura y densidad, que refractan la luz un poco más o menos que otras. Estas “celdas” (que tienen unos pocos centímetros de ancho) se mueven de manera turbulenta e interceptan nuestra línea visual hacia la estrella.

Cuando la refracción aleja el rayo de luz de nuestra pupila la intensidad disminuye. Cuando lo acerca, el brillo aumenta. Nuestro ojo no alcanza a detectar el movimiento de la estrella para un lado y para otro. Pero mirando a través de un telescopio con mucho aumento se puede ver la imagen de la estrella sacudiéndose y muy deformada. Hoy en día existen sistemas electrónicos capaces de compensar en tiempo real estas deformaciones. Por supuesto, hoy también podemos poner el telescopio directamente por encima de la atmósfera, en órbita terrestre.

Los colores iridiscentes son también un efecto de la refracción. Cada color que compone la luz se refracta en un ángulo ligeramente distinto. Entonces, de la misma manera que un vidrio dispersa la luz en colores, la refracción en el aire también separa los colores de la luz es-



Martín Langsam

Muchos observatorios modernos (como el Very Large Telescope, o VLT) tienen sistemas de “óptica adaptativa” (AO) que compensan el titilar de las estrellas. En el VLT usan un láser (que vemos en la foto) para producir un punto de luz muy alto en la atmósfera, por encima de las capas turbulentas. Al observar las deformaciones de este punto, un sistema electrónico calcula en tiempo real, a cada instante, la deformación “contraria” que necesita el espejo del telescopio para compensar el efecto de la turbulencia. Finalmente, un sistema electromecánico actúa sobre el espejo y corrige la imagen, lo que permite alcanzar resoluciones comparables a la de un telescopio espacial.

telar. De manera que vemos no sólo cambios de intensidad sino de color. Cuando la estrella es muy brillante y, en particular, cuando está muy baja en el cielo, el efecto puede ser impresionante. Muchos supuestos avistajes de ovnis de luces multicolores son en realidad de este fenómeno (especialmente visto desde un auto, cuando las estrellas parecen “seguirnos” por falta de paralaje). Bueno, pero la luz de los planetas también viene de más allá de la atmósfera. ¿Por qué los planetas no titilan? La explicación es más sutil. Si bien a simple vista tanto estrellas como planetas se ven como puntitos de luz, el tamaño aparente de los planetas en el cielo es mucho mayor que el de las estrellas. Naturalmente, los planetas son en realidad mucho más pequeños que las estrellas. Simplemente se ven más grandes porque están muchísimo más cerca. Por esta razón, a través de un telescopio, un planeta se ve como un disquito, pero una estrella se sigue viendo como un punto. Ese tamaño extendido de los planetas en el cielo es suficiente para “promediar” la refracción, ya que el movimiento de los rayos es menor que el

tamaño del disco, lo que elimina en su mayor parte el titilar.

Los astrónomos se refieren al titilar como *seeing*, y lo miden en segundos de arco correspondientes al diámetro de la imagen de la estrella. Hay otros factores que afectan el *seeing*, tales como la transparencia del aire, el brillo del cielo, etc. En buena medida, no importa la calidad del telescopio ni la oscuridad del cielo si no podemos observar con buen *seeing*. Es uno de los parámetros cruciales que determinan el lugar donde se instalan los mejores observatorios astronómicos. ■

1 Lleva una música tradicional muy conocida porque Mozart escribió unas famosas variaciones para piano (KV 265), que todo el mundo sabe tocar con un dedo: do do sol sol la la soool... fa fa mi mi re re dooo...

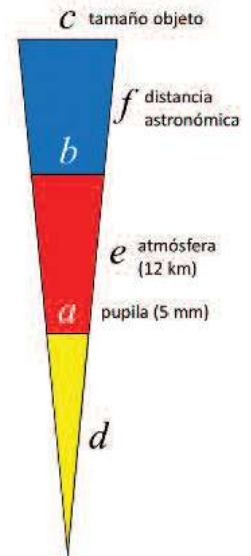
2 *Stella Nova* fue el nombre que el astrónomo danés Tycho Brahe le dio a una supernova que observó en 1572, en la constelación de Casiopea.

Los triángulos del titilar

Podemos hacer un cálculo sencillo, apelando a las propiedades de triángulos semejantes, para mostrar que, aunque los planetas se vean tan pequeños en el cielo (puntuales, a simple vista), su tamaño aparente es suficiente para cancelar el efecto turbulento de la atmósfera.

Los rayos de luz que vienen de la estrella o planeta y que entran por la pupila forman un cono, que se va abriendo muy ligeramente a medida que nos alejamos del ojo. Queremos calcular el ancho del cono en la región más turbulenta de la atmósfera, típicamente a 12 km de altura, donde están las "celdas" de aire que distorsionan la luz y que miden unos 10 cm de ancho. El diagrama representa los rayos de luz que entran por la pupila y forman la imagen de la estrella o planeta (no está a escala, el ángulo es mucho más pequeño).

Los triángulos que nos interesan son los que se ven marcados con colores. Uno tiene su base en la fuente de luz, otro a 12 km de altura, y otro en la pupila (unos 5 mm). Los otros lados coinciden, de manera que coincide el ángulo inferior. Así que son triángulos semejantes y sus partes correspondientes son proporcionales. Esto quiere decir que el cociente entre las bases es igual al cociente entre los lados:



$$\frac{b}{a} = \frac{d+e}{d} \quad \text{ecuación 1}$$

y también:

$$\frac{c}{a} = \frac{d+e+f}{d} \quad \text{ecuación 2}$$

Estas son dos ecuaciones con dos incógnitas, b y d . Aunque d no nos interesa y b sí, tenemos que despejar las dos. Empecemos por la ecuación 2, que tiene una sola de las incógnitas, la d . Primero pasamos d , de abajo a la derecha a arriba a la izquierda:

$$\frac{c}{a}d = d + e + f$$

De aquí es sencillo despejar d :

$$d = \frac{e+f}{c/a-1} = \frac{(e+f)a}{c-a}$$

Antes de poner este valor de d en la ecuación 1 observemos lo siguiente. La distancia astronómica f es mucho mayor que la altura atmosférica e . Así que en la suma $(e+f)$ no perdemos prácticamente nada si dejamos sólo f . Del mismo modo, el tamaño de la estrella o planeta, c , es enorme comparado con el diámetro de la pupila, a . Así que en la resta $(c-a)$ podemos dejar alegremente c . Así hacemos las cuentas los físicos, y queda mucho más fácil:

$$d = \frac{fa}{c}$$

Ahora podemos poner este valor de d en la ecuación 1 (el primer paso distribuye el denominador):

$$\frac{b}{a} = \frac{d+e}{d} = 1 + \frac{e}{d} = 1 + \frac{ec}{fa}$$

Pasando a del denominador del lado izquierdo al numerador del lado derecho y simplificando:

$$b = a + \frac{ec}{f}$$

Éste es el resultado importante. Notemos que el ancho del haz en la alta atmósfera es igual al tamaño de la pupila más algo. Es decir, el haz de luz se ensancha hacia arriba. ¿Cuánto se ensancha? Depende de e , c y f . Veamos el caso de Spica y Saturno, poniendo todo en las mismas unidades.

Para Spica: $c = 7$ diámetros solares = $9,7 \times 10^9$ metros, $f = 260$ años luz = $2,46 \times 10^{18}$ metros.

Obtenemos: $b = 5,05$ mm. Esto es apenas más grande que la pupila: como la estrella está tan lejos, el cono de luz se va abriendo muy ligeramente. Ésta es la clave de la explicación.

Para Saturno: $c = 1,14 \times 10^8$ metros, $f = 9$ unidades astronómicas = $1,32 \times 10^{12}$ metros.

Obtenemos: $b = 1$ metro y poco más (abarcando varias celdas de aire).

Es decir, mientras el haz de rayos de Spica es mucho más angosto que una típica celda de turbulencia, el haz de rayos de Saturno es mucho más ancho, así que aunque se sacudan frenéticamente las celdas en su interior casi no afecta la luz total que llega a la pupila y forma la imagen. De todos modos, si el aire es muy turbulento hasta los planetas pueden titilar.