

COMPARACIÓN DEL BRILLO DE LA AURORA BOREAL CON FUENTES DE LUZ CONOCIDAS

Francesc Roura Adserias
Septiembre de 2016
Proyecto Stars4all



Resumen

En el presente estudio se ha comparado el brillo aparente de las auroras boreales con un objeto emisor de luz, en este caso bombillas. Se tomaron imágenes dentro del proyecto SheliOS2016c, en Groenlandia, a finales de verano de 2016. Los resultados son plausibles y nos revelan que las luces del Norte equivaldrían a una densidad de bombillas de 1 a 4 por cada metro cuadrado, aproximando la forma de la aurora a una superficie esférica.

Introducción

En el proceso de selección para el proyecto STARS4ALL, observamos la contaminación lumínica de las ciudades alrededor del mundo, vista desde la Estación Espacial Internacional (IEE), y a base de muchas horas nos dimos cuenta de la brutal cantidad de luz emitida hacia el cielo nocturno. Bajo el magnífico espectáculo boreal de Groenlandia, pensamos que se podría sacar más provecho de las fotografías que estábamos utilizando para determinar la altura de las auroras. Así pues tal espectáculo de luz me sugirió la siguiente pregunta: ¿Si en vez de ser luces producidas por la interacción de partículas procedentes del sol con la atmósfera terrestre fueran bombillas suspendidas en el aire, de cuántas o de qué densidad estaríamos hablando?

Para determinar la densidad de bombillas, es imprescindible saber el flujo aparente (Wm^{-2}) que nos llega a la tierra, que obtenemos de la imagen de la cámara. Sabiendo la magnitud aparente de una estrella libre de aurora, se ha determinado la magnitud de la aurora en distintos puntos. Cabe señalar que hay alguna desviación debido al error sistemático de la cámara, ya que la obtención de la imagen fue en JPG y no en modo RAW, y a la aberración propia del objetivo. Una vez obtenido el valor del flujo aparente, se ha determinado también el flujo intrínseco de la aurora a una distancia media de 150 km de altura, donde encontramos aurora verde, la más visible, procedente de la interacción de las partículas procedentes del sol con el oxígeno. Una vez obtenido este flujo, se ha comparado con el flujo emitido por una bombilla estándar, y determinado a cuántas bombillas corresponde tal potencia por unidad de área.

Ya que no se ha dispuesto de las imágenes en formato RAW, se han hecho los cálculos considerando la magnitud (y por lo tanto el flujo) de la banda electromagnética captada por la cámara, que corresponde aproximadamente a la banda del visible.

Metodología

1. Obtención de imágenes

Entre el día 22 de agosto y el 5 de septiembre, durante 6 noches pudimos captar imágenes de auroras, al sur de Islandia y al sur de Groenlandia. Cada noche, se utilizaron dos cámaras Canon EOS 5D Mark II, con un objetivo de 15mm de focal y 6 segundos de exposición, con una ISO de 3200. Algunas imágenes no han sido aprovechables ya que, debido al rocío y la escarcha, no quedaron nítidas.

2. Análisis de las imágenes

Para el estudio, era necesario un cielo despejado y una aurora lo más homogénea posible, pero en la que se pudiera identificar una estrella no afectada por la misma. De los millares de fotografías, no ha sido fácil encontrar la imagen idónea. Finalmente se ha escogido una correspondiente al día 1 de septiembre, en Groenlandia (Imagen 1).



Imagen 1: Fotografía utilizada para el estudio

No es la aurora más homogénea que observamos, ni la más luminosa, pero es perfecta por el hecho de tener un espacio de cielo (hacia la osa mayor, a la izquierda de la imagen) sin aurora alguna.

3. Obtención de la magnitud aparente de la aurora (m)

Una vez escogida la imagen, con la ayuda del programa MAXIM DL, se ha utilizado la estrella Alpha Ursae Majoris como base para poder obtener la magnitud aparente de la aurora en distintos lugares. El programa nos deja establecer una escala de magnitudes en base a ésta estrella cuya magnitud sea escogida arbitrariamente igual a 0 (Imagen 2). Sabiendo la magnitud aparente de la estrella es $m_s = 1,79$ [1], se puede calcular (teniendo en cuenta el tiempo de exposición) la magnitud de la aurora (m) como la suma de la detectada en la imagen (m') (Imagen 3) y m_s :

$$m = m' + m_s. \quad (1)$$

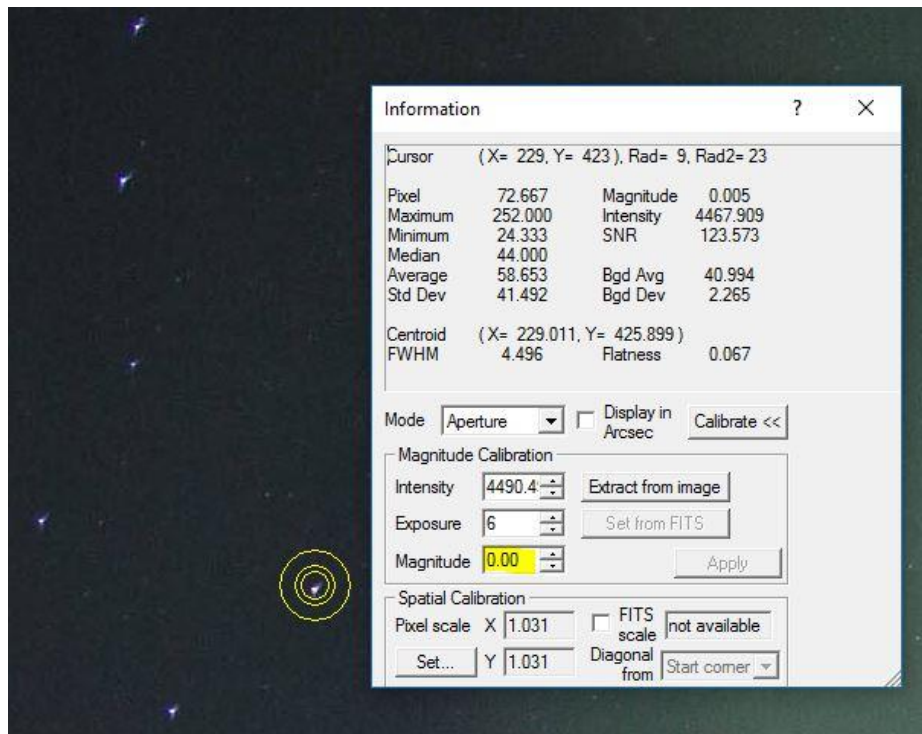


Imagen 2: Calibración del punto magnitud=0

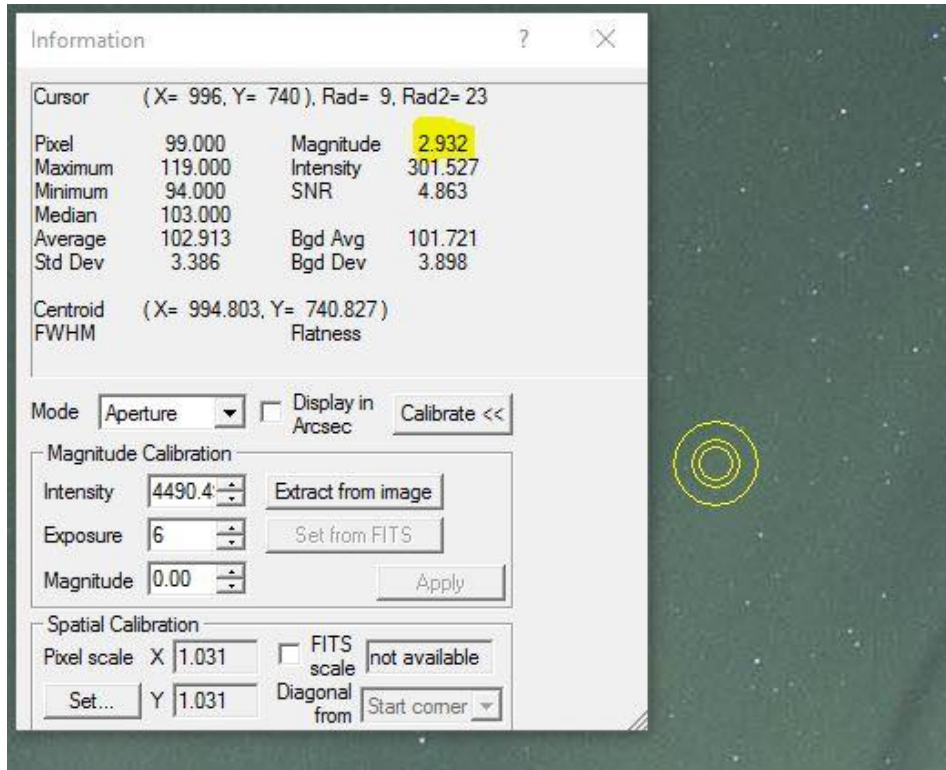


Imagen 3: Determinación de m'

Es importante escoger sectores de aurora que estén al zenit, ya que si se buscara el flujo en un sector próximo al horizonte, se superpondrían diferentes “capas” de aurora verde, y obtendríamos un valor de flujo mucho mayor al real.

4. Determinación del flujo intrínseco de la aurora (F).

Una vez conocida la magnitud aparente de la aurora, podemos obtener su luminosidad aparente (l), según la definición de magnitud aparente:

$$m \equiv -2,5 \cdot \log\left(\frac{l}{l_0}\right), \quad (2)$$

donde l_0 es la luminosidad aparente de Vega. Obtenemos l_0 sustituyendo en la expresión los valores conocidos del sol. Si $L = 3,846 \cdot 10^{26}W$ es la luminosidad del sol y $d = 1,49 \cdot 10^{11}m$ la distancia tierra-sol, su luminosidad aparente vale:

$$l = \frac{L}{4\pi \cdot d^2}. \quad (3)$$

Como la magnitud aparente del sol es $-26,74$, aplicando la Ecuación (2), obtenemos $l_0 = 2,75 \cdot 10^{-8}W/m^2$.

Así pues, conocidas l_0 y m obtenemos la luminosidad aparente de la aurora, aplicando la Ec.(2). Ahora podemos calcular el flujo de la aurora (F) aplicando la conservación de la energía:

$$F = \left(\frac{r}{R}\right)^2 \cdot l \quad (4)$$

Donde R es el radio de la tierra y r el radio de la tierra más la altura de la aurora, que según los estudios de años anteriores [2], se encuentra en promedio a unos 150 km. Cabe notar que el tiempo de exposición de la imagen es de 6 segundos y l y l_0 se miden por segundo. Así pues, el flujo real es seis veces menor al determinado directamente desde la fotografía.

$$l_{\text{corregida}} = \frac{l}{6}; \quad F_{\text{corregido}} = \frac{F}{6}$$

5. Comparación con una fuente de luz conocida

Conocido el flujo intrínseco de la aurora (en W/m^2) podemos compararlo con el flujo luminoso de una bombilla (F_b) (en W por unidad de ángulo sólido o lumen). Para comparar las dos magnitudes, utilizamos la siguiente expresión:

$$F_b \cdot n = F_{\text{corregido}} \cdot r^2 \quad (5)$$

Donde n es el número de bombillas, $F_{\text{corregido}}$, el flujo de la aurora corregido a 1 segundo y r el radio de la tierra más la altura de la aurora.

Juntando las expresiones hasta llegar a aquí nos da la expresión para el cálculo directo del número de bombillas por metro cuadrado, N :

$$N = \frac{1}{F_b} r^2 \frac{l}{6} = \frac{1}{F_b} r^2 \frac{l_0}{6} 10^{-\frac{m}{2,5}} \quad (6)$$

Resultados

Se presentan resultados referentes a magnitudes que van del máximo encontrado en el área estudiada hasta $m = 6,5$, la magnitud límite que percibimos con el ojo. Restringiendo nuestro campo a las cercanías del zenit, tenemos unos picos cerca de $m = 4,3$, aunque la media se encuentra entre $m = 5$ y $m = 6$. Se hacen los cálculos para un $F_b = 1000lm$ (lumens), equivalente a una bombilla de bajo consumo de 30W o a una incandescente de 110W (Tabla 1). Los valores son muy variables en zonas cercanas que aparentemente tienen la misma magnitud aparente.

Magnitud aparente, m	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1	6,3	6,5
Número de bombillas, N	3,7	3,1	2,6	2,1	1,8	1,5	1,2	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5

Tabla 1: Presentación del número de bombillas correspondiente por metro cuadrado a cada una de las magnitudes de aurora encontradas.

Discusión

Los resultados muestran una cantidad de bombillas equivalente de sólo 4 en los puntos más luminosos. Los resultados se podrían mejorar en gran medida cambiando el formato de obtención de las imágenes a RAW y sacar el máximo de información de la matriz de Bayer del detector CCD. Tampoco se ha tenido en cuenta el color de la estrella de referencia, ni el de la aurora, que influye en la determinación de la magnitud relativa que a la vez influye mucho en el cálculo final, al tener una relación potencial con N .

En la formula final el cálculo de N nos queda en función de m, r y F_b . La incertidumbre más grande nos viene de la determinación de m , ya que el error relativo en r^2 es pequeño.

Conclusiones

Hemos conseguido determinar con éxito la magnitud de la aurora en la imagen seleccionada. Se ha calculado que su luminosidad equivale a una densidad de 1 a 4 bombillas por metro cuadrado, que era nuestro propósito. Para un futuro estudio, más cuidadoso, se deben mejorar las técnicas de toma de imágenes. Hemos observado que la aurora presenta grandes variaciones de magnitud aparente, aunque a simple vista parezca bastante homogénea.

Referencias

[1] Base de datos del programa Stellarium

[2] <<http://www.rutaestrellas.com/>> (última consulta 5/10/2016)

Vicent J.Martínez. (2008). *Astronomia fonamental*. Valencia: Universitat de València

<<http://www.cyanogen.com/help/maximdl/MaxIm-DL.htm>> (última consulta 5/10/2016)

<http://jazzistentialism.com/blog/?page_id=1244> (última consulta 5/10/2016)

<<http://astroaula.net/recursos-didacticos/actividades/auroras-boreales/>> (última consulta 6/10/2016)