
AZOTEA

(Astronomía Zenital desde el hOgar en Tiempos de Extremo Aislamiento)

Midiendo la contaminación lumínica desde casa

V1.2 2020/04/06 Jaime Zamorano (Universidad Complutense Madrid)

Investigadores implicados: Salvador Bará, Alejandro Sánchez de Miguel, Jesús Gallego, Rafael González, Sergio Pascual, Nicolás Cardiel, Jaime Izquierdo, Carlos Tapia, Francisco Ocaña, Cristóbal García, Esteban González, Lucía García ...

1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Oportunidad del proyecto	2
1.2 Fotometría del cielo nocturno	3
2. REALIZACIÓN DE OBSERVACIONES	3
2.1 Método observacional	4
2.2 Equipo y configuración	4
Cámara fotográfica	4
Objetivo fotográfico	4
Formato de los datos	5
Obtención de secuencias	5
Configuración de la cámara	6
Diafragma	6
2.3 Estación de monitorización	7
Localización y apuntado	7
Protección de la cámara	7
3. ANÁLISIS CIENTÍFICO	8
3.1 Procesado de las imágenes	8
3.2 Representaciones gráficas	8
3.3 Análisis estadístico	8
4. LISTA DE TAREAS PENDIENTES	8
5. PREGUNTAS FRECUENTES	9
6. ENTIDADES EN LA COLABORACIÓN	9

RESUMEN

Se propone un proyecto de ciencia ciudadana consistente en la monitorización del brillo y color del cielo nocturno mediante cámaras fotográficas para evaluar la disminución de la contaminación lumínica durante el período excepcional de aislamiento domiciliario donde se espera menor actividad y cielos más oscuros. Está dirigido a cualquier persona interesada que disponga de una cámara fotográfica digital.

OBJETIVOS

1. Estudio del impacto de la actividad humana en la contaminación lumínica.
2. Evaluación del brillo y color del cielo de nuestras ciudades y pueblos.
3. Introducción a las técnicas de medidas fotométricas con cámaras digitales.
4. Establecimiento de una red de cámaras digitales de monitorización del brillo y color del cielo nocturno.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Oportunidad del proyecto

Debido al aislamiento domiciliario al que estamos sometidos, las actividades de observación astronómica se ven reducidas a las que podamos realizar desde nuestro domicilio con la instrumentación disponible. En este documento se describe la idea de un estudio a lo largo del tiempo (monitorización) del brillo y color del cielo nocturno que debe desarrollarse mediante medidas obtenidas desde casa con ayuda de cámaras digitales de uso común.

Como es bien sabido, el brillo de cielo nocturno y su color dependen de la cantidad, tipo y localización de las fuentes de contaminación lumínica. El estudio del brillo y color del cielo permite por tanto estimar la contaminación lumínica. Su monitorización continua proporciona los datos que tratados estadísticamente muestran si ha habido evolución. Por lo tanto sirven como control de la variación de la contaminación lumínica.

Una parte de la contaminación lumínica que abrillanta el cielo procede del tráfico y de la iluminación de comercios y oficinas. Se espera que en estas fechas esta contribución disminuya considerablemente. Es una oportunidad excepcional para medir estos

parámetros durante el tiempo que dure el aislamiento y continuar cuando llegue la normalidad para comprobar el efecto que tuvo la menor actividad humana.

Además la disminución de la contaminación atmosférica implica una menor cantidad de aerosoles en suspensión lo que aumenta la transparencia del cielo.

1.2 Fotometría del cielo nocturno

El brillo del cielo nocturno se mide con fotómetros especialmente diseñados como el SQM que es el usado en las estaciones de monitorización de las redes como la de la Red Española de Estudios sobre Contaminación Lumínica (REECL¹), o la red Gallega² o Catalana. La red del proyecto europeo STARS4ALL utiliza fotómetros TESS-W³.

Sólo algunas estaciones están dotadas de fotómetros con posibilidad de determinar el color del cielo, como por ejemplo las cámaras de todo el cielo AstMon. El precio de estos equipos impide su uso por ciudadanos. Sin embargo muchas personas poseen cámaras de fotos digitales (DSLR). Con estas cámaras se pueden tomar imágenes en formato nativo o RAW que una vez calibradas proporcionan datos científicos.

Una ventaja adicional de las DSLR es que sus imágenes están formadas por píxeles en tres colores RGB (del inglés Red Green Blue) correspondientes a los canales rojo, verde y azul organizados en una disposición conocida como matriz de Bayer. Las imágenes RAW se pueden descomponer en imágenes individuales de cada color de manera que su comparación sirve para estimar el color del cielo.

La idea es usar las cámaras DSLR disponibles y tomar fotos desde casa en RAW idealmente (pero no necesariamente) apuntando al cenit. Una secuencia de una foto cada 10-12 minutos es suficiente para no hacernos con una cantidad de datos excesiva. Estas medidas (todas las noches posibles, incluyendo noches con nubes) se deberían continuar cuando volvamos a la normalidad para tener la referencia.

Cuando el proyecto finalice, con suerte algunas de las estaciones de monitorización permanecerán operativas y se podrá mantener una red de cámaras digitales monitorizando el brillo y color del cielo nocturno.

¹ <https://guaix.fis.ucm.es/reeccl/SQM-REECL>

² https://www.meteogalicia.gal/Caire/brillodoceo.action?request_locale=gl

³ <https://tess.stars4all.eu/map/>

2. REALIZACIÓN DE OBSERVACIONES

2.1 Método observacional

La idea es usar la cámara DSLR de cada colaborador y tomar fotos desde casa. Se trata de monitorizar y por lo tanto hay que obtener medidas continuamente a lo largo de la noche cada noche, incluso las noches nubladas. Necesitamos montar las cámaras en estaciones de monitorización, protegidas de la intemperie.

Con el análisis estadístico de los datos distinguiremos los momentos de cielo despejado (donde esperamos cielos más oscuros en ambientes urbanos) de los nublados con cielos más brillantes. Hay que tener en cuenta que las medidas con nubes son igual de importantes.

2.2 Equipo y configuración

Cámara fotográfica

Sirve cualquier cámara fotográfica digital que permita obtener datos en RAW. Para saberlo hay que buscar en el manual de la cámara o navegar en el menú. Las cámaras DSLR son las ideales pero hay cámaras compactas e incluso teléfonos que tienen esta opción. Como queremos tomar datos continuamente hay que notar que esta cámara que elijamos tendrá que estar dedicada a este proyecto y no usarse para otro asunto. Se puede dedicar una cámara que no sea la mejor de nuestro equipo sino una que ya no estemos usando. No es necesario que la cámara sea de formato completo ("full frame"). Las cámaras APSC o similares sirven perfectamente.

Objetivo fotográfico

El objetivo debe cubrir una zona amplia de la bóveda celeste pero no es necesario que sea all-sky. En el procesado mediremos en la central región del campo de visión pero interesa ver el resto del cielo.

Si se tiene una visión del horizonte se podría emplear un objetivo gran angular e idealmente de ojo de pez. Como no se suele disponer de este tipo de objetivo tan especial usaremos el que tengamos disponible.

Es importante que no se cambie durante el proyecto ni el objetivo ni su configuración. Esto es particularmente relevante para los objetivos tipo zoom donde se debe elegir una

focal en el tope del recorrido para asegurarnos de que siempre es el mismo. Por ejemplo, si se usa un objetivo zoom 18-50 mm, éste debe situarse en 18 o en 50 mm pero no en un valor intermedio.

Formato de los datos

El formato RAW es el nativo de la cámara, es decir son los datos originales. Las cámaras DSLR tienen un detector panorámico que es lineal: el doble de luz resulta en el doble de señal. La linealidad es vital a la hora de calibrar las medidas. Si por ejemplo se graba en JPEG los datos han sufrido un procesado que impide recuperar los datos originales y se pierde la linealidad.

Para facilitar el procesado de los datos es aconsejable que los nombres de los ficheros contengan la fecha y la hora de la toma de los datos. No es vital ya que esta información se almacena en los metadatos de las fotos que normalmente usan un formato EXIF y puede ser recuperada posteriormente. Por supuesto la cámara o el ordenador que la controle deben estar puestos en hora. Se usará preferentemente hora TU (tiempo universal) pero de nuevo esto no es necesario y tiempo local (TL) es suficiente.

La medida de las imágenes está relacionada linealmente con el flujo de fotones que se han recibido siempre que le restemos a cada imagen el valor de oscuridad (DARK). Al principio de las secuencias se debe tapar la cámara para obtener imágenes DARK que nos permitan calcular un valor promedio. Para nuestros propósitos es suficiente aunque se debe notar que este valor es la suma de un valor pedestal o BIAS, de la corriente de oscuridad que depende de la temperatura de la cámara (y del tiempo de exposición). Los tiempos de exposición son constantes en nuestro caso. Si la temperatura cambia a lo largo de la noche, la corriente de oscuridad varía y por lo tanto el valor de DARK.

Obtención de secuencias

Para obtener medidas a lo largo de la noche se realizan secuencias como las que se emplean en los 'time lapses'. Para ello se puede usar un intervalómetro o conectar la cámara DSLR a un ordenador que controle los disparos. Por ejemplo para las cámaras Canon se usa el software de la cámara EOS Utility. Hay más software disponible para control de cámaras que puede encontrarse en internet.

Lo ideal es una foto cada minuto que permite aislar los períodos de cielo despejado y nublado de manera más efectiva. Pero es necesario advertir que el obturador de una cámara de este tipo está diseñado para soportar unos 100000 disparos. Por lo tanto una

secuencia de una foto cada 6-12 minutos (10-5 fotos por hora) debería ser suficiente y no colapsaría nuestros discos. Estamos trabajando para crear una plataforma de recogida y almacenamiento de imágenes para liberar el espacio de los discos locales.

Recordemos que se necesita alguna imagen DARK (cámara tapada, sin luz llegando al detector) al principio de la secuencia. La configuración de la cámara debe ser la misma y sobre todo el tiempo de exposición.

Como ejemplo la estación de Villaverde del Ducado dotada de una cámara Canon EOS 450D produjo 580 imágenes de unos 16 Mbytes en la noche del 22/3/2020 con un total de 7.44 Gb. En esta cámara se realiza una foto de 60s de exposición. El programa Canon Utility espera 5s antes de empezar otra integración para aguardar a que se descarguen los datos al ordenador. En la configuración de Jaime Izquierdo dentro de Madrid usando una cámara Canon EOS550 las 60 imágenes con intervalo de 10 minutos de la noche 2020/04/06 le ocuparon 1.4 Gb.

Configuración de la cámara

Se debe utilizar una configuración concreta que sea siempre la misma para facilitar el análisis de los datos. Eso significa olvidarse del modo automático y fijar el diafragma, sensibilidad y tiempo de exposición de forma manual y dejarlo fijo.

Cada colaborador debe hacer pruebas con su equipo para obtener fotos de suficiente señal en cielos despejados y que, con la misma configuración, no sature en momentos nublados. Como ejemplo en Villaverde del Ducado con brillo de cielo en momentos despejados de 21.4 magn/arcsec² (banda TESS-W) se emplea ISO 400, f/4 y tiempos de exposición de 60s.

- **Diafragma**

Seleccione el diafragma más abierto o más luminoso. Así se garantiza que la abertura es siempre la misma ya que cada vez que se toca el anillo de diafragmas la abertura no es exactamente la misma. Eso estropea el calibrado y se degrada la calidad de la fotometría. Si nuestro objetivo es f/4 usaremos f/4, por ejemplo.

Nótese que los expertos recomiendan no dejar el objetivo completamente abierto ya que la imagen está menos corregida de aberraciones. En nuestro caso estas aberraciones no son importantes.

-
- Sensibilidad
ISO 400 puede ser una referencia. Para cielos oscuros en sitios rurales se puede usar ISO 800 o superior. En zonas urbanas contaminadas ISO 200 puede ser suficiente pero mejor usar ISO 400 y tiempos de exposición menores.
 - Exposición
Los tiempos de exposición en lugares no muy contaminados pueden ser del orden de 1 minuto. Para zonas urbanas hay que bajar hasta valores que no saturen. Tal vez 5s para empezar a probar y procurando que no sea menos de 1s.
 - Enfoque
El enfoque debe ponerse a infinito como si fuéramos a hacer una foto astronómica o un paisaje. No buscamos un enfoque perfecto ya que no es un parámetro crítico. En el análisis se sumará la señal de una zona de la imagen y no importa si las estrellas están un poco borrosas, fuera de foco.

2.3 Estación de monitorización

La cámara debe situarse en una localización que permita obtener imágenes científicas de interés. Se trata de mantener un equipo funcionando en las mismas condiciones de configuración y apuntado durante un tiempo. Eso implica mantener el equipo en estación y protegido de las inclemencias.

Localización y apuntado

La situación ideal de nuestra estación es una azotea o terraza que permita una visión directa del cenit (el punto más alto de la bóveda celeste). Para colaboradores inmersos en el interior de ciudades o pueblos mediremos en preferencia el brillo y color del cielo en el cenit.

En el caso de estaciones en localidades fuera de grandes núcleos urbanos pero que tengan una visión directa de sus halos luminosos apuntaremos la cámara para registrar ese resplandor. El campo de visión debe abarcar desde el horizonte de forma que la altura del apuntado depende del objetivo utilizado pero puede ser unos 30-45 grados.

Se pueden añadir otras situaciones que sean especialmente interesantes de monitorizar como núcleos de casas lejanas, urbanizaciones, carreteras, etc. En cualquier caso, si no se tiene acceso a terraza con visión de cénit una buena opción es colocar la cámara en una balcon o terraza. Este montaje facilita el acceso y la protección del equipo fotográfico.

Protección de la cámara

No debemos dejar una cámara a la intemperie ya que sufrirá las inclemencias del tiempo. Si fuéramos a tomar imágenes sólo en noches despejadas se podría hacer una montura donde colocar la cámara durante esas noches y retirarla al amanecer. Como queremos medir en cualquier situación deberíamos fabricar una carcasa protectora.

Lo más sencillo es usar material de PVC del que se usa en fontanería. Por ejemplo un trozo de tubo o un manguito de unión de diámetro suficiente con una tapa horadada a la que se pega una ventana de cristal o metacrilato. Como estamos en tiempo de confinamiento hay que acudir a lo que tengamos en casa como maletas estancas, cajas contenedoras de plástico u otro menaje de hogar. Una caja de madera con un cristal encima asegurado con silicona por ejemplo puede ser suficiente.

Crearemos una página web para subir las soluciones que hayan desarrollado los colaboradores. Incluiremos los enlaces a las posibles fuentes de material empleado en su construcción.

3. ANÁLISIS CIENTÍFICO

3.1 Procesado de las imágenes

Se está desarrollando una cadena de procesado ('pipeline') que de manera automática:

- ✓ Lea los ficheros de las imágenes.
- ✓ Obtenga los datos EXIF de la cabecera de metadatos
- ✓ Descomponga las imágenes en los canales R, G y B.
- ✓ Mida el flujo (cuentas/s) de la zona central de las imágenes R, G y B.
- ✓ Mida el valor de BIAS (cuentas/s) de las imágenes de DARK.

✓ Convierta este valor en brillo superficial en magnitudes instrumentales (magn/arcsec²).

✓ Escriba ficheros de resultados.

3.2 Representaciones gráficas

Se están preparando rutinas para la elaboración de histogramas y gráficas que muestren la evolución temporal del brillo de cielo y su color.

3.3 Análisis estadístico

Los resultados científicos del proyecto se obtendrán tras estudiar los resultados del análisis estadístico de los datos.

4. LISTA DE TAREAS PENDIENTES

Lanzamiento del proyecto	Iniciado a finales de marzo 2020
Reclutamiento de colaboradores	Lanzada la llamada 27/3/2020
Creación de una página WEB.	Creada 2020/03/27 guaix.ucm.es/AZOTEA
Preparación del software.	En proceso
Plataforma de almacenamiento de imágenes.	Preparada.
Traducción al inglés	

5. PREGUNTAS FRECUENTES

- ¿Puedo usar mi cámara CCD o CMOS de color que tiene también la matriz de Bayer en lugar de una cámara fotográfica?

Por supuesto.

- ¿Se necesita trípode?

Sí, trípode o un sistema o montura que garantice la posición y apuntado de la cámara. Lo ideal es dejarla fija.

- ¿Cómo de preciso debe ser el apuntado? ¿Podría valer si monto la cámara cada noche?

Si lo haces con cuidado vale. No es necesario (aunque sí recomendable) un apuntado súper preciso.

- No tengo sistema de alimentación de la cámara, sólo su batería.

La batería se acabará agotando a lo largo de la noche. En ese caso es mejor reducir la frecuencia de toma de fotos a una cada 10-12 min y registrar mientras la batería esté viva. Es mejor empezar al anochecer aunque sólo se registre la primera parte de la noche ya que en ese momento es cuando están encendida la iluminación ornamental y hay mayor actividad humana.

- Si tapo la cámara con un cristal o la pongo detrás de la ventana ¿no se pierde la fotometría?

La calibración fotométrica se realizará en su momento para cada cámara. Usaremos las estrellas que aparecen en las fotos. Un cristal disminuye la cantidad de luz que llega a la cámara pero calibraremos usando esas imágenes tomadas detrás del cristal. En caso de ventanas hay que apantallar la cámara para que no reciba reflejos de luz del interior de la casa.

6. ENTIDADES EN LA COLABORACIÓN

- Universidad Complutense de Madrid (UCM)
- Universidad Politécnica de Madrid (UPM)
- Fundación STARS4ALL
- Proyecto Europeo ACTION
- REECL Red Española de Estudios sobre Contaminación Lumínica
- CelFosc Asociación contra la Contaminación Lumínica
- FAAE Federación de Asociaciones de Astrónomos Aficionados de España

-
- SEA Sociedad Española de Astronomía
 -