

# Análisis de contaminación lumínica mediante medidas de brillo de cielo

Jesús Escribano González

GRADO EN FÍSICA

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID



TRABAJO DE FIN DE GRADO

Madrid, 2 de julio de 2019

Tutor: Jaime Zamorano

# Índice

Abstract.....	I
1. Introducción .....	1
2. Objetivos del TFG.....	1
3. El proyecto NixNox.....	2
4. Fotómetro Tess-W .....	2
<b>4.1 Datos obtenidos</b> .....	4
5. Toma de Medidas.....	4
<b>5.1 Procedimiento</b> .....	4
<b>5.2 Setup</b> .....	5
6. Resultados.....	6
<b>6.1. Colmenar Viejo (Cementerio Santa Ana)</b> .....	6
<b>6.2. Colmenar Viejo (Puente Medieval)</b> .....	7
<b>6.3. Colmenar Viejo (Ribera del Manzanares)</b> .....	8
<b>6.4. Colmenar Viejo (M-607)</b> .....	9
<b>6.5. Torreldones</b> .....	10
<b>6.6. Montecarmelo (El Pardo)</b> .....	11
<b>6.7. Vaciamadrid (Parque Regional del Sureste)</b> .....	12
<b>6.8. Moratalaz (Parque de la Elipa)</b> .....	13
<b>6.9. San Lorenzo de El Escorial (Silla de Felipe II)</b> .....	14
<b>6.10. Sierra de Guadarrama (Bola del Mundo)</b> .....	15
7. Discusión .....	16
<b>7.2. Brillo acimutal/Satélite VIIRS</b> .....	16
<b>7.2. Localizaciones aptas para la observación a simple vista</b> .....	17
<b>7.3. Influencia local de la contaminación lumínica</b> .....	17
<b>7.4. Propuestas para futuras observaciones</b> .....	17
Referencias.....	18

# Abstract

Light pollution is an increasing problem, and, apart from having many harmful effects on both human health and fauna, limits our ability to fully observe the night sky due to the increasing of brightness it causes on it.

Initiatives like NixNox are studying the night sky and looking for locations where we can enjoy a dark sky, and for this project its methodology was adopted in an effort to find spots where a dark sky could be found and analyze the effects surrounding artificial lights can cause of its brightness.

Since this project took place in Madrid, special attention was paid to its main source of light pollution, that is, Madrid's metropolitan area, and how it, as a large light source, influences our ability to observe a dark sky even several kilometers away from its core.

## 1. Introducción

En las últimas décadas, el ser humano ha transformado el entorno y modificado el ecosistema radicalmente de muchas maneras. Una de ellas, tema de estudio de este trabajo, es la contaminación lumínica. Concretamente, la que afecta al brillo del cielo (Skyglow) en zonas habitadas. Existen diversas fuentes que la originen, sean la iluminación de edificios, fábricas y farolas unas de sus principales. Aunque de primeras puede parecer que la consecuencia principal de ésta contaminación sea la limitación que puede plantear a la hora de experimentar completamente la belleza de los astros, estudios realizados la relacionan con efectos dañinos tanto para la humanidad como el resto del ecosistema. Así, se ha asociado al trastorno de los ecosistemas de diversas formas, desde la modificación de rutas de aves migrantes hasta la capacidad de encontrar tierra de las tortugas, afectando a su reproducción o causando la muerte de las crías, incapaces de encontrar el mar. El lo que concierne a los humanos, la contaminación lumínica interfiere en los ciclos circadianos, lo cual se refleja, por ejemplo, en la producción de melatonina, y se relaciona con un aumento del riesgo de padecer obesidad, depresión, trastornos del sueño, diabetes, cáncer, etc.[1] El estudio de la contaminación lumínica es un paso imprescindible si aspiramos a revertir estos efectos.

## 2. Objetivos del TFG

Preparación de mapas de todo el cielo del brillo de cielo en lugares seleccionados dentro y en los alrededores de Madrid, siguiendo el formato NixNox.

Discusión de los resultados, en particular sobre la localización y brillo de las fuentes contaminantes y la comparación con los datos de satélites artificiales.

### 3. El proyecto NixNox

El proyecto NixNox nace en la Universidad Complutense de Madrid (UCM) de la mano de la Sociedad Española de Astronomía (SEA) con una idea clara 'Defender el cielo nocturno y el derecho de todos a observarlo'. Así, se pretende, mediante el estudio de la luminosidad del cielo en el territorio español, localizar aquellas zonas accesibles en las que los ciudadanos puedan disfrutar de un cielo oscuro lo más libre de contaminación lumínica y así observar un cielo estrellado en todo su esplendor. Para ello se nutre de las contribuciones por parte tanto de astrónomos profesionales como de astrónomos aficionados. Haciendo conocidos estos lugares, se pretende también animar a las autoridades a preservarlos y tomar medidas para reducir la contaminación lumínica. [2]

Las medidas se toman usando técnicas de fotometría astronómica, registrando la luz incidente de cielo filtrada en un CCD. Para este proyecto se utilizan fotómetros TESS, que miden el brillo en mag arcsec-2 y consideran la influencia de las estrellas con un campo de máxima sensibilidad de 20°. [3] La exposición de las medidas obtenidas se expondrá conforme al patrón seguido en la web del proyecto para incluirlas más fácilmente en el mismo; junto a los mapas de brillo se harán una serie de observaciones breves sobre el lugar, seguido de indicaciones sobre el acceso a la zona. [4]

### 4. Fotómetro Tess-W

El fotómetro empleado para la toma de medidas del trabajo es el TESS-W, cuyas siglas significan 'Telescope Encoder and Sky Sensor' desarrollado por Cristóbal García como parte de su proyecto de observatorio remoto [5].

Aunque el fotómetro fue diseñado para tomar medidas en un punto fijo, su portabilidad y escasos requisitos para su uso satisfactorio lo hacen ideal para el proyecto.

Entre las características del dispositivo, se destacan las que lo hacen especialmente útil para la creación de los mapas de brillo:

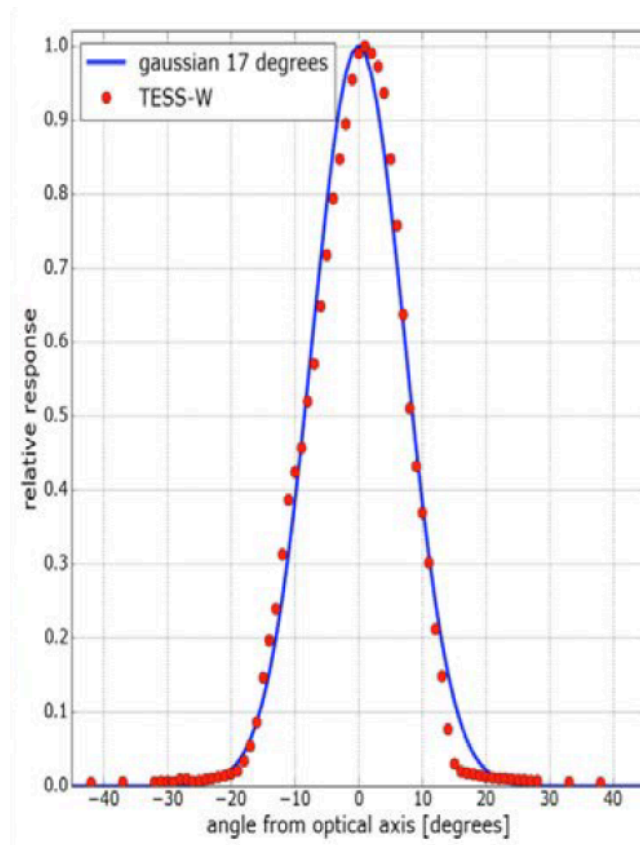
- Está contenido en una carcasa resistente al clima, dentro de la cual se encuentra una pequeña resistencia que permite, calentando el dispositivo, medir en escenarios donde la temperatura no permitiría a la electrónica funcionar correctamente, así como prevenir el empañamiento de la lente.

- Puede alimentarse a través de su conexión USB, por lo que una batería portátil sirve como fuente de alimentación. Cabe destacar su bajo consumo.

-Se puede consultar en tiempo real los valores detectados por el aparato conectándonos a la red wifi que genera, utilizando, en este caso, la aplicación TESS (Disponible en Play Store para dispositivos Android), mediante la cual también se puede programar un registro de datos, que se almacenan en un archivo de texto.

-Dispone de un sensor IR que informa si el cielo está nublado y, por ende, ayuda a determinar qué noches se podrán tomar medidas.

Con respecto a la electrónica del aparato, el TESS-W utiliza un fotodiodo que convierte luz en frecuencia para la detección del brillo del cielo. El sensor, con banda de paso en el visible, recolecta la luz incidente tras atravesar un filtro dicróico. Su campo de visión es de 17 grados (figura 1), lo cual no impide que puedan registrarse fuentes de luz periféricas en hasta 40 grados respecto al cénit. Esto es relevante a la hora de tomar medidas, pues luces cercanas a los ángulos de observación afectarán a las medidas. [6]



**Fig. 1.** Campo de visión (FoV) del fotómetro TESS-W, correspondiente a, aproximadamente, una curva gaussiana con FWHM=17 grados.

## 4.1 Datos obtenidos

El fotómetro mide luminosidad por unidad de área y devuelve valores de brillo superficial ( $\text{mag arcsec}^{-2}$ ), cuya relación es de la forma [7]:

$$S_B[\text{mag arcsec}^{-2}] = -10 - 2.5 \log_{10} S_B[\text{fotones}^{-1}\text{m}^{-2}\text{Hz}^{-1}\text{arcsec}^{-2}]$$

Como referencia, una medida de aproximadamente  $21.9 \text{ mag arcsec}^{-2}$  [8] corresponde a lo que podría considerarse un cielo verdaderamente oscuro. Cada disminución de 1 en las unidades de medida del fotómetro corresponderá a un cielo con 2.5 veces más luminancia, es decir, más brillante.

## 5. Toma de Medidas

### 5.1 Procedimiento

Para la toma de datos, se eligieron 10 localizaciones y se tomaron las medidas durante noches sin nubes ni luna (debajo del horizonte). Con el fin de tener cierta capacidad de planificación acerca de cuándo realizar las observaciones, se consultaron calendarios de sol y luna pudiendo elegir así días con franjas horarias en las cuales el sol se hubiera puesto hace unas dos horas y la luna aún no hubiera salido [9]. Con respecto a las nubes, se consultó principalmente el facilitado por *Pelmorex*, que ofrece, además del estado en directo de la nubosidad, previsiones en el rango de 5 días, lo cual fue una gran ayuda a la hora de planificar salidas [10]. Pese a todo, se dieron ocasiones en las que se cancelaron las observaciones por apariciones repentinas de frentes nubosos.

Se accedió a las localizaciones utilizando un coche como transporte, aunque en algunas de ellas fue necesario realizar una travesía para llegar a los puntos con mejor visibilidad.

El objetivo en cada una de las localizaciones era el de obtener los valores de brillo en el cénit, así como en las alturas de 20, 40, 60 y 80 grados sobre el horizonte haciendo un barrido en cada una de ellas tomando medidas espaciadas 30 grados, tomando la primera apuntando en dirección sur. Con estas medidas se puede construir un mapa de brillo del cielo en la zona que facilita una idea cuantitativa de la contaminación lumínica en la zona, así como la localización de dichas fuentes. [4]

## 5.2 Setup

La toma de medidas fue realizada utilizando:

- Fotómetro TESS-W. (fig. 2)
- Trípode con montura panorámica, que permite seleccionar fácilmente la posición del fotómetro, tanto en azimut como en altura, gracias a marcas incorporadas. (fig. 2)
- Nivel de burbuja, para conseguir colocar el sistema correctamente y así poder utilizar las medidas del trípode. (fig. 2)
- Batería portátil para alimentar el fotómetro. (fig. 2)
- Xiaomi MiA2 en el que se instaló la aplicación TESS (disponible en Play Store) con la cual podemos observar en tiempo real las medidas del fotómetro. También se utilizó la aplicación Compass para orientar el sistema hacia el sur.



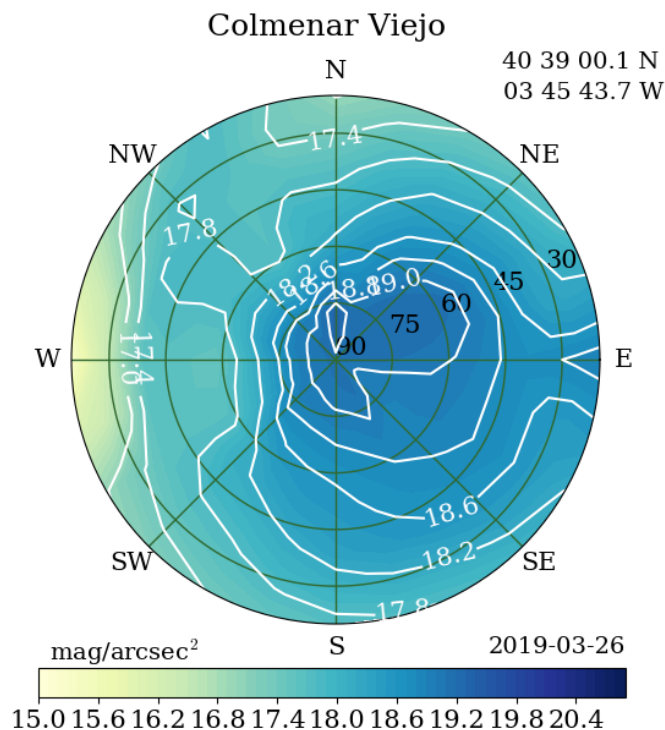
**Fig. 2.** Fotómetro TESS-W [1]. Trípode con cabeza panorámica [2]. Nivel de Burbuja [3]. Batería portátil [4].

## 6. Resultados

### 6.1. Colmenar Viejo (Cementerio Santa Ana)

[Brillo en el cénit:  $19.13 \text{ mag arcsec}^{-2}$ ]

Se observa cómo, pese a que el área cercana al cénit presenta valores cercanos a  $19 \text{ mag/arcsec}^2$ , las fuentes de luz directas (farolas del camino y núcleo urbano) estropean la posibilidad de observar satisfactoriamente las estrellas. En el mapa se aprecia también la contribución a la contaminación lumínica del núcleo urbano de Madrid (Sur), con el que tenemos línea de visión directa. En la dirección Oeste se aprecia la influencia que puede tener una luz periférica aunque no se encuentre dentro del campo de visión.



**Fig. 3.** Mapa de brillo en Colmenar Viejo. Se aprecia claramente la contribución de fuentes artificiales a la visibilidad del cielo. Al oeste, una farola; al norte, el núcleo urbano; al sur, Madrid.

### CÓMO LLEGAR

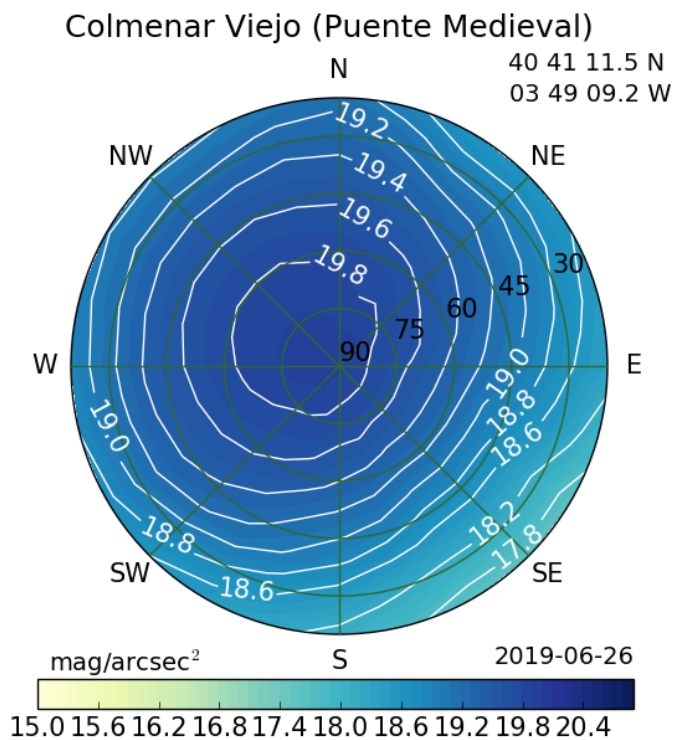
Circulando por la M-607 en dirección Colmenar Viejo/Tres cantos, se toma la salida 29 para incorporarse en la M-618 en dirección Colmenar Viejo/Hoyo de Manzanares, que incorporará en Av. de la Libertad, desde la cual se accede a la Av. Circunvalación. Una vez ahí, se siguen las indicaciones a Ermita de Santa Ana, a la cual se accede en una rotonda que lleva al camino dentro del cual, circulando unos 700 m, se podrá aparcar el vehículo.



## 6.2. Colmenar Viejo (Puente Medieval)

[Brillo en el cénit: 19.92 mag arcsec<sup>-2</sup>]

La zona de la Ribera del Manzanares, concretamente, en las proximidades de la M-607, ofrece un escenario interesante para disfrutar del cielo nocturno dada su fácil accesibilidad y buena visibilidad de las estrellas, aunque se ve afectada en gran medida por la influencia en las bajas alturas por la contaminación lumínica procedente mayoritariamente de la zona urbana de Colmenar Viejo (Sureste) y, en menor medida, Madrid y Soto del Real (Sur y Noreste, respectivamente).



**Fig. 4.** Mapa de brillo en Colmenar Viejo. Es apreciable cómo el núcleo urbano perturba especialmente la calidad del cielo.

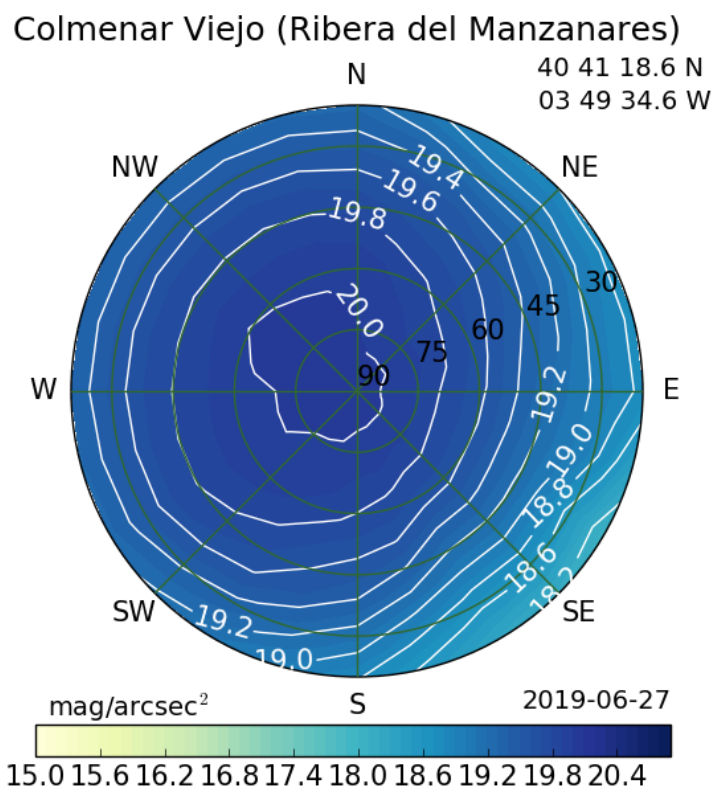
### CÓMO LLEGAR

Circulando por la M-607 hacia Cerceda, a la altura del kilómetro 38 se encontrarán señalizaciones hacia 'Puente Medieval'. Se puede aparcar el coche en la zona fácilmente.

### 6.3. Colmenar Viejo (Ribera del Manzanares)

[Brillo en el cénit: 20.04 mag arcsec<sup>-2</sup>]

Camino con potencial para observación estelar, pero estropeado por los potentes focos de la depuradora en la orilla del río y un array de fuentes de luz de origen desconocido que dificultaban la adaptación de la vista. Podría considerarse una zona generalmente oscura, pero afectada por la luz procedente de una depuradora cercana (Noreste) y Colmenar Viejo. Se puede apreciar en la zona sur la influencia de Madrid en la oscuridad del cielo. Adentrándose más en el camino, las condiciones probablemente sean más adecuadas para la observación del cielo.



**Fig. 5.** Mapa de brillo en Colmenar Viejo, en las inmediaciones de la Ribera del Manzanares.

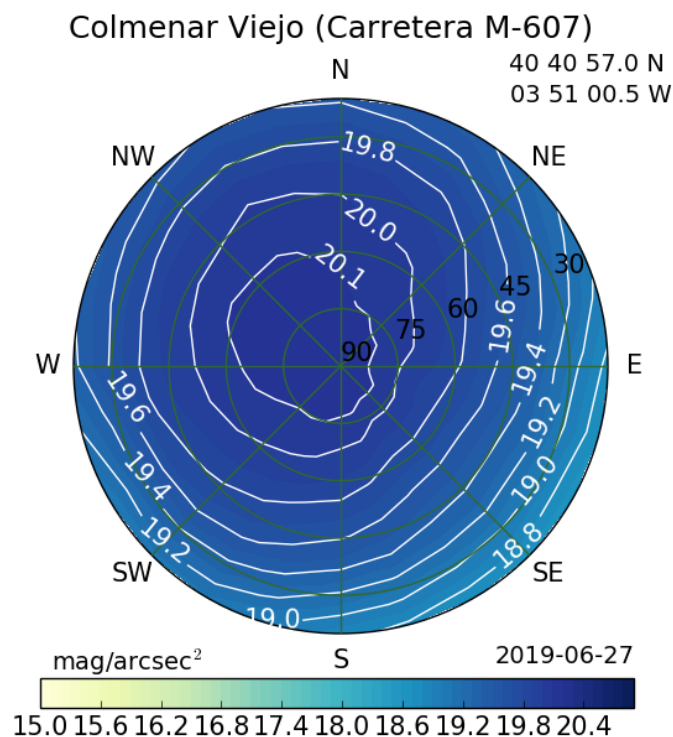
#### CÓMO LLEGAR

Circulando por la M-607 hacia Cerceda, a la altura del kilómetro 38 encontraremos señalizaciones hacia 'Puente Medieval'. Podrá aparcarse el coche en la zona y acceder a la vía desde el parking siguiendo el camino que cruza el puente medieval y girando a la izquierda en la primera bifurcación.

## 6.4. Colmenar Viejo (M-607)

[Brillo en el cénit: 20.18 mag arcsec<sup>-2</sup>]

De camino a Puente Medieval llamó la atención la buena visibilidad en todos los ángulos en varios puntos de la carretera y la ausencia de fuentes de luz artificiales. Resultó una interesante opción para disfrutar del cielo nocturno sin necesidad de alejarse de las vías. Como se pudo observar, aunque el cielo era generalmente oscuro, no está exento de la influencia de la luz proveniente de Madrid y zonas urbanas cercanas.



**Fig. 6.** Mapa de brillo en M-607(Km 40). Buenas condiciones para la observación del cielo nocturno, no exento aún así de contaminación lumínica.

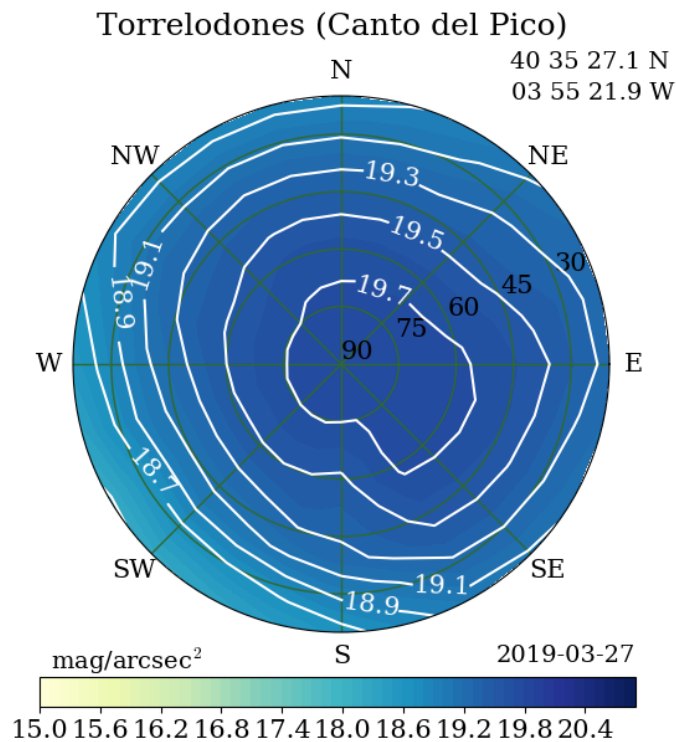
### CÓMO LLEGAR

Circulando por la M-607 hacia Cerceda, a la altura del kilómetro 40, se encuentra el acceso a la finca. Se puede aparcar, tomar las medidas y disfrutar del cielo nocturno en condiciones de poco tráfico.

## 6.5. Torrelodones

[Brillo en el cénit: 19.75 mag arcsec<sup>-2</sup>]

Se tomaron las medidas en un paraje próximo a la Finca Los Jarales, al norte de municipio de Torrelodones. La calidad del cielo es suficiente para realizar observación estelar aunque no por ello la zona está exenta de contaminación lumínica, proveniente de los núcleos urbanos de los alrededores; de Norte a Sur: Hoyo de Manzanares, La Berzosa, Collado Villalba, Parquelagos y Torrelodones. Al Sureste se aprecia la contribución de Madrid al brillo del cielo nocturno.



**Fig. 7.** Mapa de brillo de cielo en Torrelodones. Se observa la contaminación lumínica proveniente de las zonas urbanas cercanas, así como Madrid (SE)

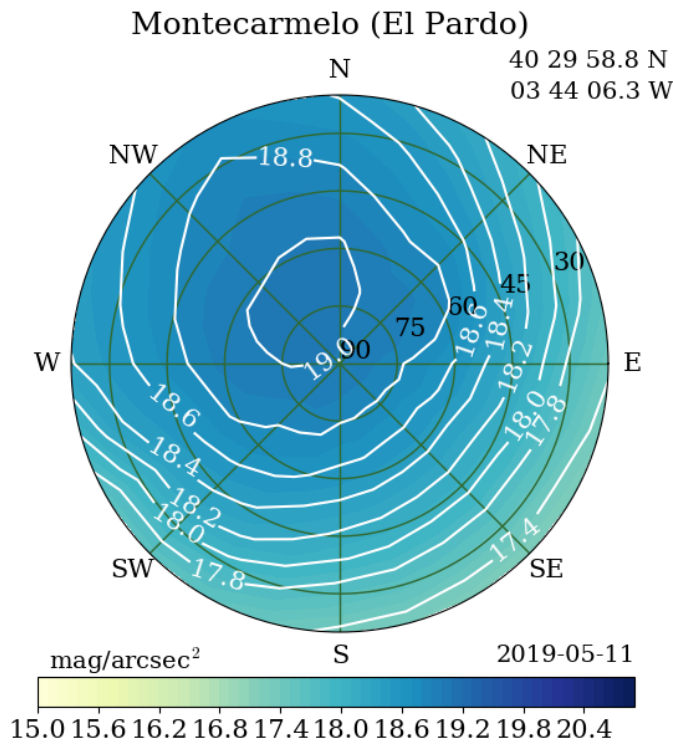
### CÓMO LLEGAR

Desde Madrid, se puede acceder a esta zona tomando la salida 27 desde la A-6 y siguiendo las indicaciones hacia la M-618, donde se circulará hasta el kilómetro 21. Una vez ahí, se puede aparcar el coche y seguir el camino de las Charcas de los Camochas. Se encontrarán varias bifurcaciones, y siempre se tomará la que apunta en dirección a la elevación que se ve desde el principio el camino.

## 6.6. Montecarmelo (El Pardo)

[Brillo en el cénit: 19.0 mag arcsec<sup>-2</sup> ]

Zona resguardada de luces urbanas a la par que accesible. Aunque bien es cierto que en la zona no hay luces urbanas ni cúmulos de focos, se encuentran luces directas procedentes de fincas cercanas que podían afectar a las medidas. Se busó un punto libre de la influencia de dichos focos. Apreciable en el mapa como pese a lo resguardado del paraje, la contaminación lumínica procedente de Madrid entorpece la observación estelar. Pese a ello, para los habitantes de Madrid puede ser una localización interesante para disfrutar del cielo nocturno teniendo en cuenta su proximidad a la metrópolis.



**Fig. 8.** Mapa de brillo de cielo en Montecarmelo. Claramente apreciable el efecto que tiene Madrid en la calidad del cielo, pues ilumina el cielo desde el Noroeste hasta el Noreste de manera apreciable.

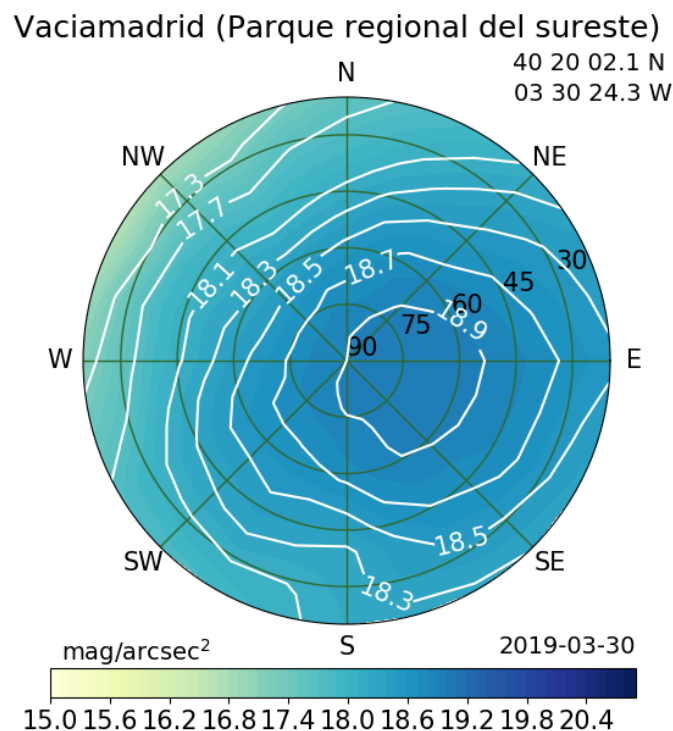
### CÓMO LLEGAR

Circulando por la carretera de El Pardo a Fuencarral, entre los kilómetros 3 y 4 de la misma, se encuentra un camino señalado con indicaciones hacia la Residencia de Caballos 'La Quinta del Pardo'. Incorporándose a dicho camino y siguiendo hasta que se vea una bifurcación, en la cual se toma la desviación a la derecha, se llegará a un camino pegado a un muro. Fue necesario adentrarse unos 500 metros para alejarse de las luces.

## 6.7. Vaciamadrid (Parque Regional del Sureste)

[Brillo en el cénit:  $18.9 \text{ mag arcsec}^{-2}$ ]

Cerca del complejo residencial de Vaciamadrid, pueden encontrarse encontrar caminos relativamente resguardados de la influencia de farolas y demás luces directas. En esta ocasión, se eligió un claro en el cual no había línea de visión directa con Madrid para reducir la influencia de las luces incidentes. La visibilidad del cielo es limitada debido a la fuerte influencia del gran foco urbano de Madrid (Norte-Suroeste) y municipios cercanos como Torrejón de Ardoz y Mejorada del Campo, (Norte-Noreste) , teniendo también una aportación al brillo nocturno proveniente de Vaciamadrid (Sur) y Arganda del Rey (Sudeste).



**Fig. 9.** Mapa de brillo de cielo en Vaciamadrid. El núcleo metropolitano de Madrid domina frente a otras fuentes de contaminación lumínica.

### CÓMO LLEGAR

Circulando por la A-3, se toma la salida 19 hacia Rivas Vaciamadrid Este y se seguirán dichas indicaciones. Se encontrará una rotonda, en la cual se tomará la primera salida para incorporarse a la Avenida de Francia, y se continuará recto hasta el final de la misma. Una vez allí, se puede aparcar y caminar hacia la ubicación siguiendo el camino que lleva hacia la elevación que se encuentra a la derecha, mirando en dirección norte. Las medidas fueron tomadas unos 200

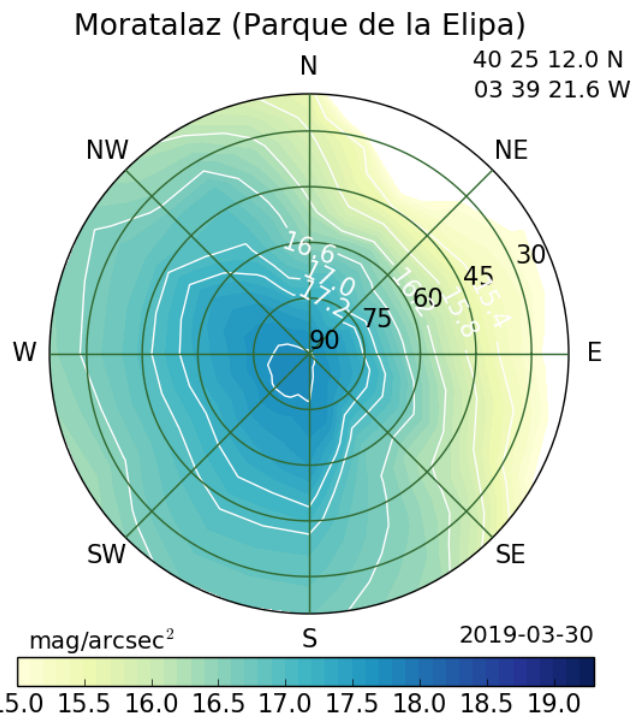
metros adentrados en el camino, en la zona más alta que se encontró sin luces directas.

### 6.8. Moratalaz (Parque de la Elipa)

[Brillo en el cénit: 17.72 mag arcsec<sup>-2</sup> ]

Parque situado en el barrio de La Elipa, cerca de los estudios de Televisión Española («El pirulí»). Para reducir la influencia de focos de luz cercanos, las medidas se tomaron en la cima de una pirámide de cuerda. Vistas las medidas, no parece haber sido suficiente elevación para conseguirlo.

En pocas palabras, un sitio nada recomendado para disfrutar del cielo nocturno, pues éste queda diluido en una suerte de niebla anaranjada consecuencia de la abundante contaminación lumínica, y solo podían apreciarse las estrellas más brillantes.



**Fig. 10.** Mapa de brillo de cielo en Moratalaz. Fuerte influencia de las luces urbanas impiden la observación estelar en este punto. Al noreste, la interferencia originada por los focos del parque.

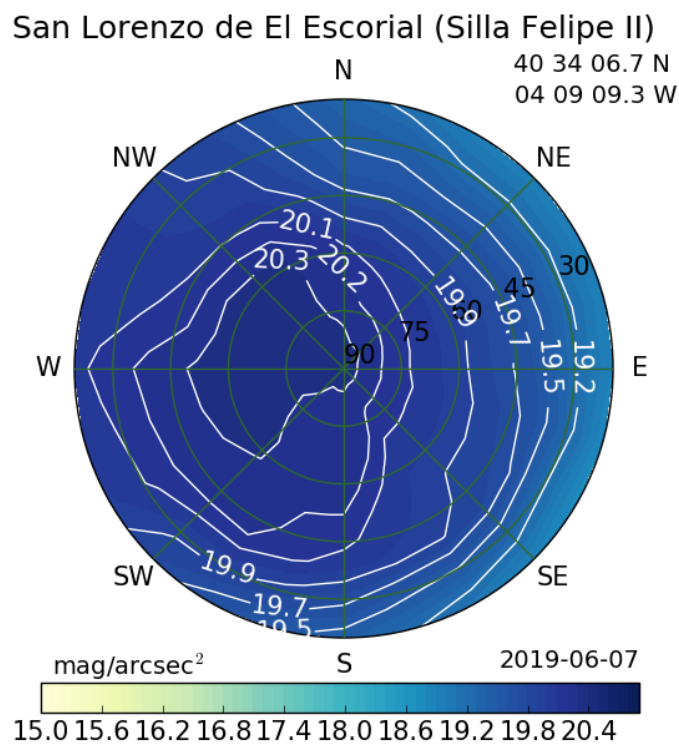
### CÓMO LLEGAR

Circulando por la M-30, se siguen las indicaciones hacia la Avenida del Marqués de Corbera. Se puede aparcar en la zona y acceder al parque.

## 6.9. San Lorenzo de El Escorial (Silla de Felipe II)

[Brillo en el cénit: 20.36 mag arcsec<sup>-2</sup>]

De las localizaciones elegidas para el estudio del brillo del cielo, quizás esta haya resultado ser la opción más interesante para la observación estelar, por varios motivos. No solo hay que tener en cuenta la excelente calidad relativa obtenida con respecto a otros lugares, que aunque no exento de los efectos de la contaminación lumínica procedente tanto de la ciudad de Madrid como zonas urbanas cercanas permitió observar incluso la Vía Láctea, sino que además es una zona de muy fácil acceso si se dispone de un vehículo motorizado.



**Fig. 11.** Mapa de brillo de cielo en San Lorenzo de El Escorial. Buenas condiciones para la observación estelar afectadas, no obstante, por las zonas urbanas cercanas y Madrid.

### CÓMO LLEGAR

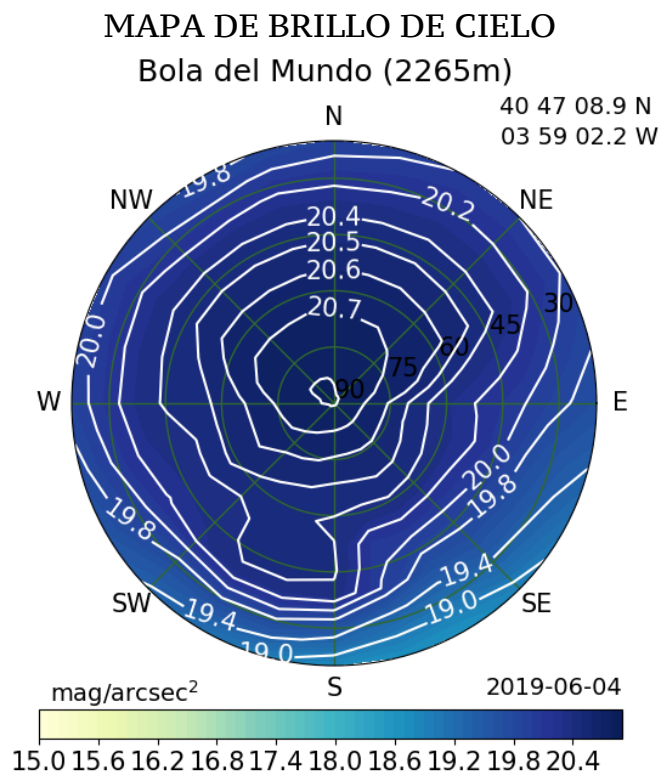
Circulando por la M-505 en dirección San Lorenzo de El Escorial, a la altura del kilómetro 30, se encuentran indicaciones para llegar a la Silla de Felipe II. Se toma la incorporación al camino indicado y se circulará entorno a 2 kilómetros más hasta situarse en la Silla de Felipe II. Posibilidad de aparcar sin problema. Hay que tener especial cuidado con la fauna local, pues no es raro toparse con corzos en el camino.



## 6.10. Sierra de Guadarrama (Bola del Mundo)

[Brillo en el cénit: 20.81 mag arcsec<sup>-2</sup>]

No es sorprendente que las mejores condiciones para la observación estelar se hayan encontrado, durante el desarrollo de este trabajo, a casi 2700m de altitud y alejados de núcleos urbanos fuertemente iluminados. Pese a ello, los efectos de la contaminación lumínica son apreciables, aún estando su principal fuente, Madrid, a más de 60 kilómetros de distancia y sin tener línea directa de visión con ella.



**Fig. 12.** Mapa de brillo de cielo en Bola del Mundo. Muy buenas condiciones para la observación del cielo nocturno, pero se sigue apreciando la contaminación lumínica procedente principalmente de Madrid.

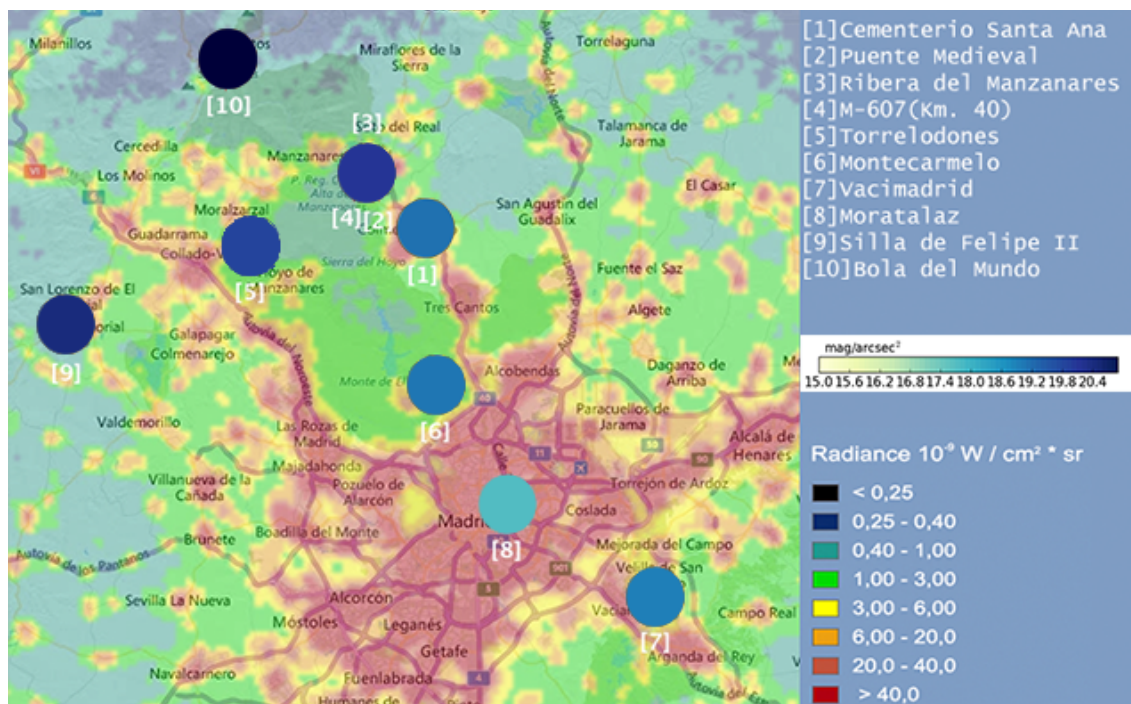
### CÓMO LLEGAR

Se circula por la M-601 hasta Puerto de Navacerrada, donde se puede aparcar el coche sin problema en el parking yendo de noche. Una vez allí, se toma la pista conocida como 'Vuelta de los Pastores' por la que se continúa hasta la Cuerda de las Cabrillas, donde se girará a la izquierda. Tras subir la pendiente se encuentra la pista de asfalto, que, siguiéndola, lleva a la Bola del Mundo. Es un camino que acumula cerca de 400 metros de desnivel y de entorno a una hora de subida, que sumado a la posible carga de equipo y las condiciones nocturnas, puede no ser la primera opción para observaciones casuales del cielo nocturno.

## 7. Discusión

### 7.2. Brillo acimutal/Satélite VIIRS

Con respecto a las medidas, se ha observado relación entre la calidad del cielo y la densidad de zonas urbanas en sus alrededores y, consecuentemente, de fuentes artificiales de luz. Así, Cuanto más alejados de ellas, mejores condiciones para la observación del cielo se encuentran. Como caso extremo, se puede comparar el brillo cenital del cielo en Moratalaz y en Guadarrama: En el primer caso se mide un brillo de  $17.72 \text{ mag arcsec}^{-2}$ , mientras que, a 70 kilómetros de Madrid a unos 2700 metros de altitud se obtiene un valor de  $20.18 \text{ mag arcsec}^{-2}$ , lo que implica que una disminución en un factor aproximadamente 10 de la luminosidad del cielo. En la figura 12 están señalizadas las localizaciones donde fueron tomadas las medidas, sobre un mapa realizado a partir de medidas de irradiancia (espectro visible) en el satélite VIIRS [11], el cual puede dar una idea de la cantidad de contaminación lumínica en cada punto y cómo ésta puede relacionarse con los valores cenitales de brillo superficial, también representados mediante una escala de color.



**Fig. 13 .** Ubicaciones donde fueron tomadas medidas sobre mapa VIIRS 2019. El color de los círculos está asociado al brillo superficial observado en el cenit. Al alejarnos de Madrid, los valores cenitales mejoran. Por su similitud, se han unificado los valores de las medidas [2], [3] y [4].

## *7.2. Localizaciones aptas para la observación a simple vista*

Cabe también poner en contexto los valores obtenidos para poder valorar el potencial de una localización para apreciar el cielo estrellado. Así, partiendo de la aproximación de que el ojo desnudo no distingue un cielo como más oscuro a partir de  $18.9 \text{ mag arcsec}^{-2}$  [12], puede considerarse un cielo cuyo brillo ronde esos valores en sus distintas alturas y acimuts como uno suficientemente oscuro, y, por tanto, apto para su pleno disfrute a simple vista. Sirviéndose de esta premisa, podrían considerarse adecuados para la observación estelar los cielos observados en las afueras de Colmenar Viejo (6.3., 6.4.), Torrelodones (6.5.), San Lorenzo de El Escorial (6.9.) y la Sierra de Guadarrama (6.10.). Otro aspecto a valorar a la hora de considerar un paraje para la observación del cielo debe ser la presencia de luces artificiales intensas cercanas, las cuales pueden dificultar la capacidad de adaptar la vista a las condiciones de oscuridad.

## *7.3. Influencia local de la contaminación lumínica*

Sobre cómo las fuentes de contaminación lumínica afectan a la oscuridad del cielo en una ubicación concreta, se puede cuantificar su efecto, aproximadamente, observando las diferencias de brillo superficial entre el cénit y las alturas más bajas en las medidas no influenciadas por luces periféricas. Así, se distingue un rango de diferencias entre 1 y  $2.5 \text{ mag arcsec}^{-2}$ , es decir, las fuentes de contaminación lumínica aumentan la cantidad de luz que se recibe en las alturas cercanas al horizonte entre unas 2,5 y 10 veces con respecto a la observada en su cénit, cuyo brillo también se ve influenciado por dichas fuentes.

## *7.4. Propuestas para futuras observaciones*

Mirando al futuro, sin perder la perspectiva de los objetivos del proyecto NixNox, hay una serie de aspectos que podrían ser de interés para el estudio del brillo del cielo y el efecto sobre el mismo de las fuentes de contaminación lumínica. Uno de ellos sería dar prioridad al estudio de zonas lo más resguardadas posibles de fuentes de luz directa, pues la influencia que tienen éstas sobre las medidas incapacita el análisis de las fuentes urbanas; podría minimizarse el efecto de las fuentes directas sobre el fotómetro mediante el uso de parasoles que impidieran la luz de ángulos fuera del campo de visión. Otro aspecto interesante sería realizar medidas en diferentes horas, y días en la misma ubicación, de modo que podría conseguirse una idea acerca de cómo la fecha, hora de la noche y condiciones meteorológicas, así como la densidad de contaminación sobre la metrópolis de Madrid pueden afectar al brillo nocturno.

## Referencias

- [1] International Daylight Association <https://www.darksky.org/light-pollution/>
- [2] NixNox <https://nixnox.stars4all.eu/el-proyecto/>
- [3] J. Zamorano et al., Testing sky brightness models against radial dependency: A dense two dimensional survey around the city of Madrid, Spain, 2-3 (2015)
- [4] Nix Nox <https://nixnox.stars4all.eu/participa/>
- [5] Observatorio remoto <http://www.observatorioremoto.com/>
- [6] J. Zamorano et al., STARS4ALL Night Sky Brightness Photometer, 2-3 (2016)
- [7] J. Zamorano et al., Testing sky brightness models against radial dependency: A dense two dimensional survey around the city of Madrid, Spain, 3 (2015)
- [8] Basado en la equivalencia de  $21.83 \text{ mag arcsec}^{-2}$ , de la descripción de "truly dark sky", Sección 1.3 de Crumey, A. Human contrast threshold and astronomical visibility (2014)
- [9] Horas de Sol y Luna en Madrid <https://www.tutiempo.net/madrid.html?datos=calendario>
- [10] Nubes en España <https://www.eltiempo.es/nubes>
- [11] VIIRS <https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=4&lat=5759860&lon=1619364&layers=B0TFFFFFFFFF>
- [12] A. Crumey, Human Contrast Threshold and Astronomical Visibility, 1.3, 3 (2014)