

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA DE LA TIERRA Y ASTROFÍSICA**



**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**Código TFG: FTA14**

**Análisis de contaminación lumínica mediante medidas de brillo  
de cielo.**

**Light pollution analysis using sky brightness measures.**

**Supervisor: Jaime Zamorano**

**M<sup>a</sup> Dolores Guío Salinas**

**Grado en Física**

**Curso académico 2019-20**

**Convocatoria Julio**

## **Resumen:**

Se presentan y analizan mapas de brillo de cielo nocturno en formato NixNox, obtenidos en distintos puntos de la Comunidad de Madrid. Acompañados de algunas medidas de evolución que registran la magnitud de brillo de cielo en el cénit durante toda la noche, realizadas durante el confinamiento desde el domicilio.

Este tipo de mapas, que abarcan todo el cielo, permiten identificar las posibles fuentes de contaminación lumínica, además se ha podido confirmar que el brillo de cielo va disminuyendo según aumenta la distancia al centro de la ciudad. Siendo la Comunidad de Madrid uno de los mayores focos de contaminación lumínica de España.

## **Abstract:**

Night sky brightness maps are presented and analyzed in NixNox format, obtained at different points in the Community of Madrid. Accompanied by some evolutionary measures that record the magnitude of sky brightness at the zenith throughout the night, carried out during confinement.

This type of map, which covers the entire sky, allows identifying possible sources of light pollution, and it has also been confirmed that the brightness of the sky is decreasing as the distance to the city center increases. Furthermore the Community of Madrid is one of the major sources of light pollution in Spain.

## Índice

1. Introducción.....	2
1.1 Proyecto NixNox .....	2
1.2 The new world atlas of artificial night sky brightness. ....	3
1.3 Medidas extraordinarias.....	3
2. Metodología. ....	4
2.1 Condiciones de observación.....	4
2.2 Localización de los lugares de observación.....	4
2.3 Fotómetro TAS (TESS Auto Scan).....	5
3. Análisis de datos.....	7
3.1 Mapas de brillo de cielo.....	7
3.1.1 Cerro del telégrafo, Rivas-Vaciamadrid.....	7
3.1.2 Laguna del Campillo, Rivas-Vaciamadrid.....	8
3.1.3 Hospital Universitario del Sureste, Arganda del Rey.....	9
3.1.4 Torre de Telegrafía Óptica, Arganda del Rey.....	10
3.1.5 Puerto Núñez, Perales de Tajuña. ....	11
3.1.6 Azotea Calle del Pintor Rosales, Argüelles, Madrid.....	12
3.1.7 Comparativa de las distintas localizaciones. ....	13
3.2 Medidas de evolución.....	14
4. Conclusiones.....	18
5. Referencias.....	19

## 1. Introducción.

Este trabajo surge ante la necesidad de conseguir un equilibrio entre el ser humano y el medio ambiente, últimamente son muchas las voces que se alzan en favor de reducir la contaminación de distintos tipos, pero la contaminación lumínica también es importante y no debemos olvidarnos de ella.

Renunciar por completo a la iluminación artificial en las ciudades parece imposible y no debe ser este el objetivo final, si no conseguir una iluminación consciente y responsable con el medio ambiente, que nos permita seguir desarrollando las actividades sociales y comerciales intentando tener el mínimo impacto en el ecosistema.

Una reducción de este tipo nos permitiría, entre otros, disfrutar de cielos de mayor calidad a la hora de realizar observaciones astronómicas. También se han demostrado los beneficios de la reducción de la iluminación artificial en el bienestar de plantas, animales y la salud del ser humano<sup>1</sup>.

### 1.1 Proyecto NixNox.

El formato que se adopta es el del Proyecto NixNox<sup>2</sup> el cual, impulsado por la Sociedad Española de Astronomía (SEA), pretende unir los esfuerzos de aficionados y profesionales para lograr en primer lugar crear conciencia sobre la importancia de cuidar la calidad de nuestros cielos y en segundo lugar elaborar una guía o mapa de lugares en los que sean factibles las observaciones.

Se trata de realizar mapas de brillo de cielo, inicialmente a partir del uso de fotómetros Sky Quality Meter (SQM-L), y actualmente con una red de fotómetros Telescope Encoder & Sky Sensor (TESS), en los cuales se identifiquen las posibles fuentes de contaminación lumínica, después serán añadidos como parte de un mapa interactivo en la página web del proyecto<sup>3</sup>.



Figura 1: Mapa interactivo Proyecto NixNox para consultar lugares de observación.  
<https://nixnox.stars4all.eu/>

Como aportación se van a realizar mapas de brillo de cielo dentro del territorio de la Comunidad de Madrid con un Fotómetro TAS (TESS Auto Scan), es interesante realizar medidas en distintos lugares y también repetir la toma de datos en lugares donde ya se han realizado, por ejemplo por otros compañeros que han desarrollado este tema en sus propios trabajos de fin de grado, para comprobar si ha habido un aumento del brillo del cielo y por tanto de contaminación lumínica.

## 1.2 The new world atlas of artificial night sky brightness.

Entre los años 2015 y 2016 se lanza este proyecto<sup>4</sup> con la intención de poner en valor la importancia de la contaminación lumínica y con el fin de elaborar un mapa que cualquier persona interesada pueda consultar.

No se trata de una imagen de satélite real, sino de una aproximación estadística, a partir de los datos del Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) y de la base de datos Sky Quality Meter (SQM), se busca la función que mejor ajuste estadístico tenga al conjunto.

A la hora de presentar los datos codificados por colores lo que se hace es relacionar el brillo artificial con el brillo natural del cielo, asumiendo que es de 22 mag/arcsec<sup>2</sup>.

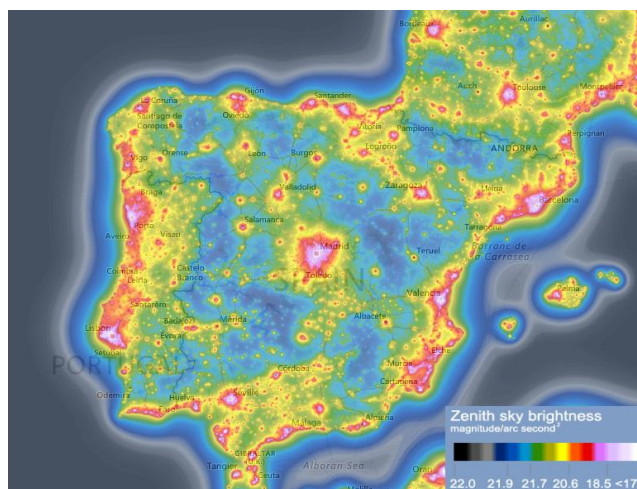


Figura 2: Mapa de niveles de brillo de cielo nocturno de la Península Ibérica.  
<https://www.lightpollutionmap.info/>

Se utilizará este modelo para comparar en cada caso con el valor de brillo de cielo en el cenit.

## 1.3 Medidas extraordinarias.

A partir de mediados de Marzo de 2020 con las medidas extraordinarias debidas al SARS-CoV-2 (COVID-19) se pasa a realizar, de acuerdo con las indicaciones del tutor, una toma de datos con el TAS en modo evolución, se trata de mantener un seguimiento de la contaminación lumínica compatible con el confinamiento.

Para ello se establece el sistema de medición en un sitio concreto, de manera que se tomen las medidas en distintos días pero apuntando al mismo lugar. Se compararán estas medidas con los datos del TESS-stars1 situado en Coslada (Madrid), fotómetro de la red TESS-W del Proyecto Europeo STARS4ALL<sup>5</sup>. Dentro de la cual se ha desarrollado un fotómetro compacto y asequible que pueden obtener instituciones y aficionados para instalar en cualquier punto, los datos de todos estos aparatos se recopilan en una sola base de datos para que puedan servir de instrumento a la hora de estudiar la evolución del problema de la contaminación lumínica.

## 2. Metodología.

### 2.1 Condiciones de observación.

Para poder llevar a cabo las medidas del brillo de fondo de cielo necesitamos que se cumplan las siguientes condiciones:

- Noche oscura: no puede estar la luna en el cielo durante la toma de datos, podemos recurrir a los días de luna nueva o también a calcular las horas de salida y puesta.
- Noche despejada: no puede haber nubes en el cielo, ya que estas reflejan la luz de la ciudad, haciendo que quede registrada una magnitud menor que la real.
- Crepúsculo astronómico: hay que esperar dos horas después de la puesta del sol para asegurarnos de que no influye la luz del astro en las mediciones.
- Horizonte visible: el lugar de observación debe tener la suficiente altura como para tener acceso al horizonte en cualquier dirección de observación.
- Ausencia de iluminación artificial cercana: evitar influencia de elementos de alumbrado público o edificios de forma directa en el aparato.
- Ausencia de árboles u otros elementos que puedan bloquear la luz de los alrededores.

### 2.2 Localización de los lugares de observación.

A la hora de buscar los lugares a los que vamos a acudir podemos usar herramientas como un mapa topográfico <sup>6</sup> y así comprobar la altura del lugar, en ese sentido los cerros o colinas suelen ser idóneos, aunque hay que comprobar que no haya mucha vegetación. También podemos acudir a sitios web como el Google Maps para comprobar la accesibilidad, aunque lo ideal sería poder ir de día con antelación a los lugares candidatos a comprobar las condiciones.

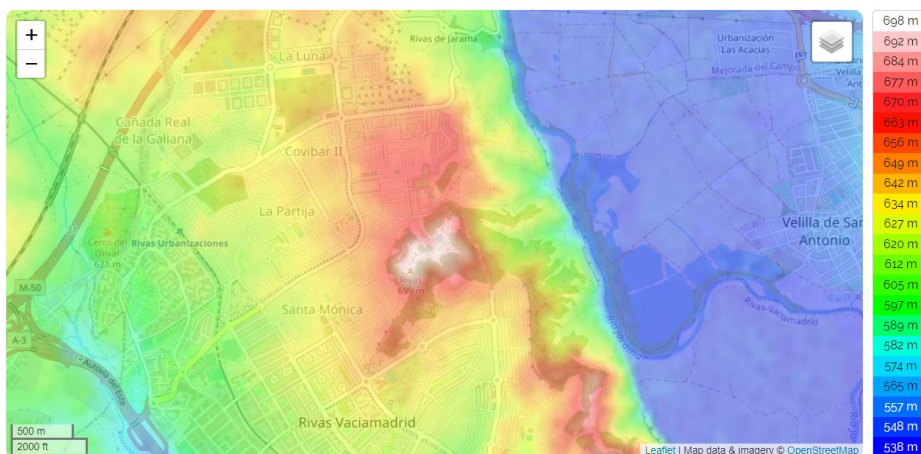


Figura 3: Mapa topográfico del Cerro del Telégrafo, Rivas-Vaciamadrid, Madrid <sup>6</sup>.

### 2.3 Fotómetro TAS (TESS Auto Scan).

El sistema que se va a utilizar para realizar toda la toma de datos está compuesto por un fotómetro TAS<sup>7</sup> y un trípode fotográfico.

A la hora de realizar la medida es importante comprobar que el fotómetro esté totalmente estable y alineado, es decir apuntando hacia el Norte y sin inclinación. Para ello se coloca en el trípode fotográfico y se utiliza una brújula y varios niveles, uno de ellos incorporado en el TAS y otro en el trípode.

Este aparato, desarrollado por Cristóbal García, es una evolución de los fotómetros TESS (Telescope Encoder & Sky Sensor) pensados inicialmente para medir la calidad del cielo y ser usados como sensor de nubes a la hora de realizar astrofotografía. Surge con la idea de poder crear un aparato que haga estas funciones pero que a la vez sea portátil.

Además se le añade un Auto-Rotador para TESS integrado, permitiendo realizar los mapas de forma autónoma ya que hace girar el TESS en distintas alturas desde los 20 hasta los 80 grados, registrando una totalidad de 48 puntos, separados 30 grados entre sí en acimut, con los que luego se puede hacer un promedio y generar un mapa completo del cielo.



*Figura 4: Fotómetro TASS, Telescope encoder & sky sensor Auto Scan.*

Los componentes son: un termómetro infrarrojo que permite la detección de nubes altas que pueden afectar a la medida, un acelerómetro y un magnetómetro de tres ejes para registrar la dirección de apuntado, un sensor TSL237 para registrar la calidad del cielo y un termómetro para conocer la temperatura ambiente.

Antes de la creación de los TESS se usaban medidores SQM, una de las diferencias entre ellos es que el SQM atenúa la contaminación de las lámparas de sodio porque su respuesta es como la de un filtro fotométrico V, en el caso del TESS no existe este problema ya que llegan a captar esa parte del espectro también. La consecuencia es que las medidas tomadas registran un exceso de brillo respecto a los SQM por eso es importante fijarse antes de comparar las medidas realizadas con estos dos sistemas.



La respuesta espectral del sensor es la de un fotodiodo, se utiliza un filtro dicróico para eliminar la emisión infrarroja de fondo, donde el cielo brilla con más intensidad de forma natural, lo que dificultaría conocer la contaminación lumínica real. Nos quedamos por tanto con la parte visible de la señal de la luz entrante, entre 435 y 635 nm de longitud de onda.

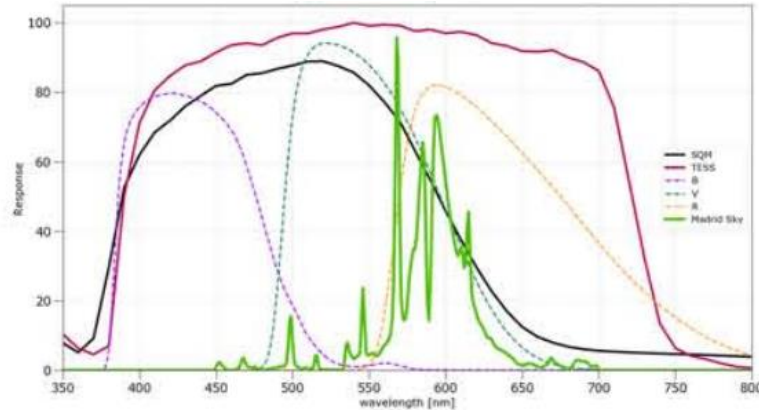


Figura 5: Respuesta del fotómetro junto al espectro del cielo de Madrid. Gráfico tomado del póster presentación de los fotómetros TESS<sup>8</sup>.

Los datos recogidos por el aparato son mandados por bluetooth a cualquier dispositivo con sistema operativo Android en el que se haya instalado la aplicación TESS-P, con una interfaz muy sencilla nos permite conocer a tiempo real los distintos datos que va recogiendo el fotómetro.

Hay dos formas de realizar la toma de datos, la primera es lanzar la aplicación y que el aparato realice un barrido completo del cielo guiado por el autorrotador; en la segunda funcionaría como un TESS fijo, lo ideal es apuntarlo hacia el cenit y marcar en la aplicación el periodo de tiempo cada cual queremos que recoja los datos, de esta forma es como se han registrado las medidas de evolución, obteniendo unos gráficos que representan la evolución del brillo de cielo de toda la noche.

Una vez realizada la toma de datos el programa genera un fichero formato csv ('comma separated values') que es almacenado en la memoria interna del dispositivo. Con las siguientes entradas: fecha, hora, temperatura IR, temperatura ambiente, magnitud, Hz, altitud, acimut, latitud, longitud, altura.

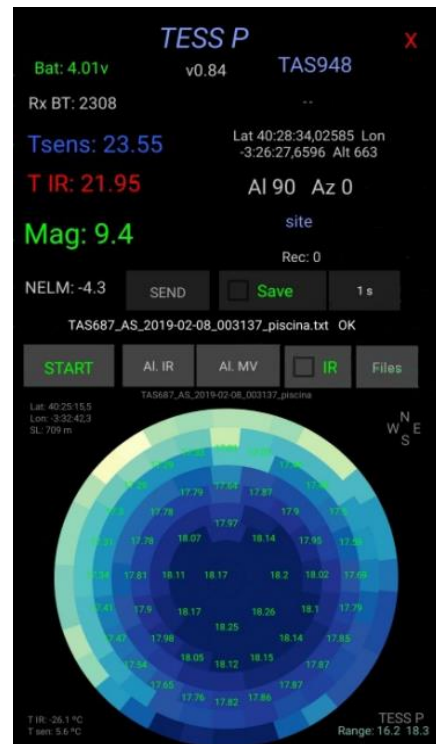


Figura 6: Interfaz de la aplicación TESS-P.

A continuación un ejemplo de la cabecera de los ficheros:

#	58C75ABF713	20.48	T IR	T Sens	Mag	Hz	Alt	Azi	Lat	Lon	SL m1	2020-02-14
21:14:39	-2.94	13.29	14.18	331	10	0	40:17:38,84172	-3:27:7,90301	7152	2020-02-14		
21:14:41	-3.19	13.3	15.03	151	10	11	40:17:38,84251	-3:27:7,91035	7143	2020-02-14		
21:14:42	-3.5	13.3	15.39	109	10	22	40:17:38,84291	-3:27:7,91406	7144	2020-02-14		
21:14:43	-4	13.3	15.06	147	10	33	40:17:38,84622	-3:27:7,92428	7155	2020-02-14		
21:14:44	-4.25	13.29	14.71	203	10	45	40:17:38,84532	-3:27:7,92004	7156	2020-02-14		



### 3. Análisis de datos.

#### 3.1 Mapas de brillo de cielo.

##### 3.1.1 Cerro del telégrafo, Rivas-Vaciamadrid.

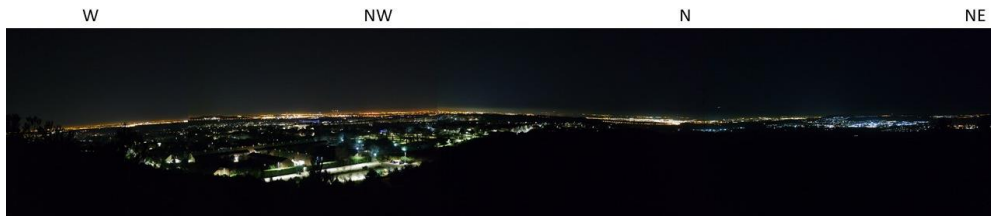


Figura 7: Panorámica desde el Cerro del Telégrafo, Rivas-Vaciamadrid.

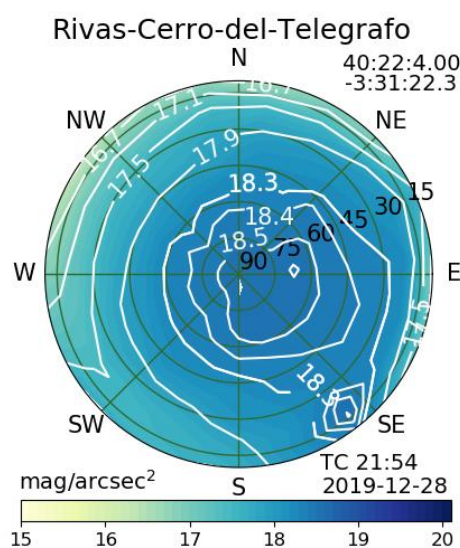


Figura 8: Mapa de brillo de cielo formato NixNox.

Fecha: 28-12-2019

Magnitud Light Pollution Map (2015): 18,75

Magnitud cénit: 18,57

Temperatura media: 6,56°C

Altura: 671 m

Latitud: 40:22:4.0 N

Longitud: 3:31:22.3 W

Primera de la serie de medidas, por proximidad al centro de la ciudad, se puede observar como la luz de Madrid (NW) eclipsa otros focos de contaminación lumínica, aunque en la dirección noreste haya otras aportaciones que pueden ser de pueblos como Torrejón de Ardoz.

En la comparativa con los datos modelados se observa un incremento de 0,18 magnitudes, siendo los datos obtenidos en este trabajo menores y por tanto con una aportación mayor de brillo en el cielo, veremos que esto se mantiene en las medidas sucesivas.

### 3.1.2 Laguna del Campillo, Rivas-Vaciamadrid.



Figura 9: Panorámicas desde la Ruta de Los Cantiles, Laguna del Campillo, Rivas-Vaciamadrid.

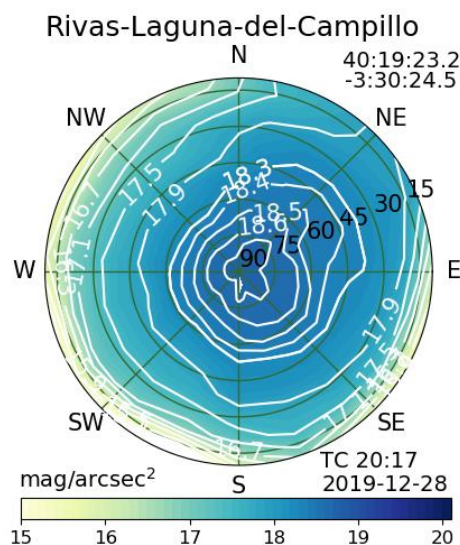


Figura 10: Mapa de brillo de cielo formato NixNox.

Fecha: 28-12-2019

Magnitud Light Pollution Map (2015): 19,02

Magnitud cénit: 18,78

Temperatura media: 9,86 °C

Altura: 591 m

Latitud: 40:19:23.2 N

Longitud: -3:30:24.5 W

En este caso además de la contribución por el noroeste del centro madrileño, tenemos una carretera que se extiende pasando por el oeste y el suroeste hasta llegar a Arganda del Rey en la dirección sureste, este municipio será la próxima parada para la toma de datos. En la dirección noreste se extiende el Parque Regional de los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama, donde no hay iluminación artificial.

Incremento de magnitud respecto a los datos modelados de 0,24 magnitudes, continuando la tendencia de exceso de brillo.

### 3.1.3 Hospital Universitario del Sureste, Arganda del Rey.

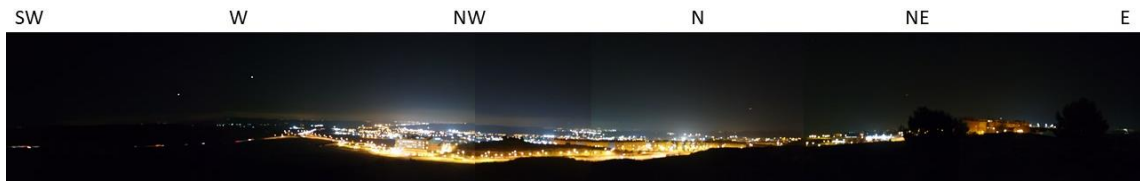


Figura 11: Panorámica desde el cerro junto al Hospital de Arganda del Rey.

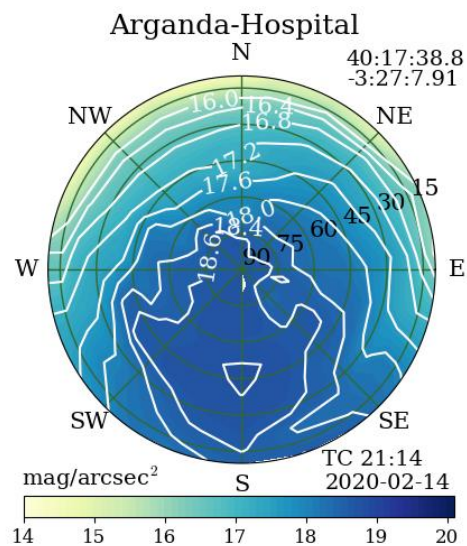


Figura 12: Mapa de brillo de cielo formato NixNox.

Fecha: 14-2-2020

Magnitud Light Pollution Map (2015): 19,11

Magnitud cénit: 18,76

Temperatura media: 12,34°C

Altura: 642 m

Latitud: 40:17:38.8 N

Longitud: 3:27:7.91 W

Se observa un gran contraste entre las direcciones norte y sur del mapa de brillo, una contribución clara al norte son las luces del mismo hospital, hacia el noreste se extiende Arganda como tal y la contribución del noroeste podría ser debida de nuevo al centro de Madrid. Hacia el sur encontramos campos de cultivo donde no hay iluminación artificial.

La diferencia en este caso con los datos modelados es de 0,35 magnitudes, la mayor de la serie de las medidas que se presentan, puede deberse a que el punto de medida es el más cercano a un centro urbano, la luz llega más directa al sensor que el resto de localizaciones.

### 3.1.4 Torre de Telegrafía Óptica, Arganda del Rey.

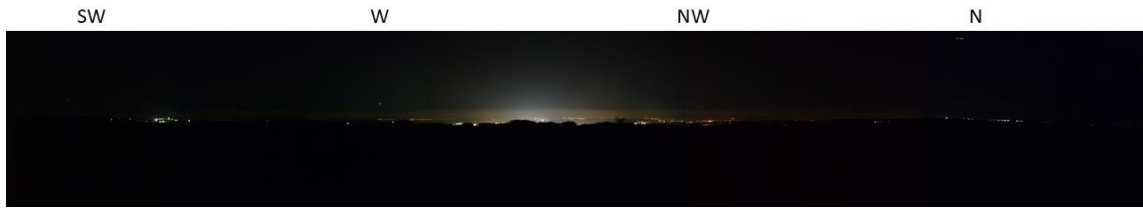


Figura 13: Panorámica desde la Torre de Telegrafía Óptica, Arganda del Rey.

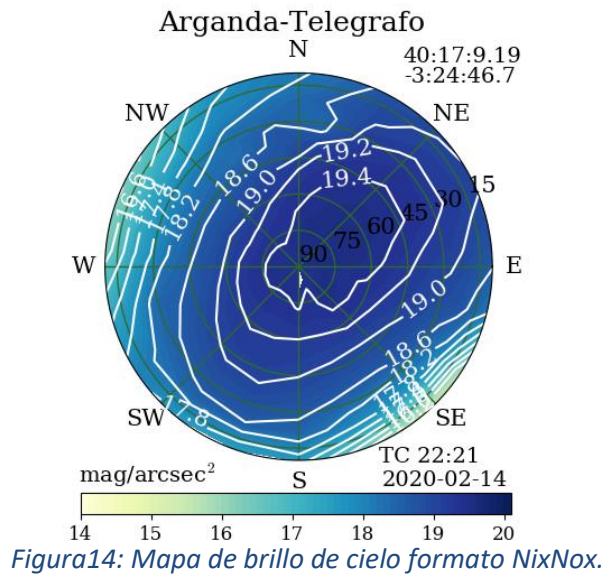


Figura14: Mapa de brillo de cielo formato NixNox.

Fecha: 14-2-2019

Magnitud Light Pollution Map (2015): 19,72

Magnitud cénit: 19,54

Temperatura media: 8,45°C

Altura: 753 m

Latitud: 40:17:9.19 N

Longitud: 3:24:46.7 W

En esta segunda medida dentro de la localidad de Arganda del Rey seguimos observando la contribución al noroeste de Madrid, a la que se le añade una contribución al sureste debida a una fábrica de cal y hormigón situada en el kilómetro 3 de la carretera Madrid-Valencia, en la que aun entrada la noche mantienen encendidas todas las luces exteriores.

Incremento de magnitud respecto a los datos modelados de 0,18 magnitudes, misma diferencia que en la primera medida del Cerro telegráfico en Rivas-Vaciamadrid.

### 3.1.5 Puerto Núñez, Perales de Tajuña.

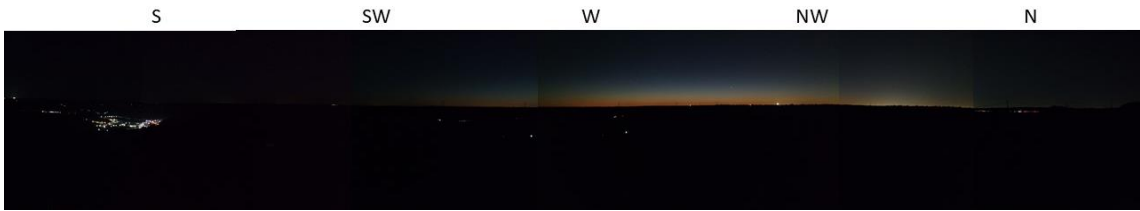


Figura 15: Panorámica desde el Puerto Nuñez, Perales de Tajuña.

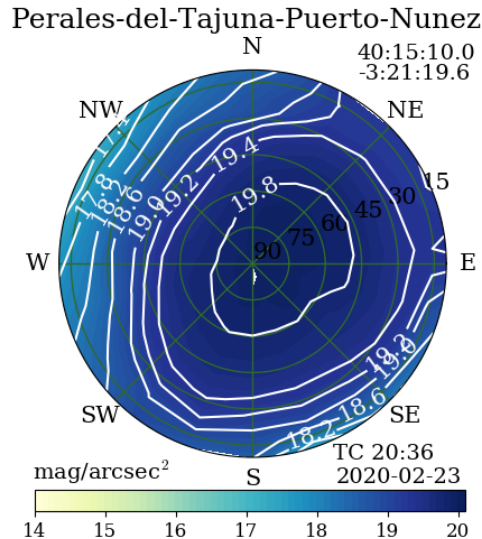


Figura 16: Mapa de brillo de cielo formato NixNox.

Fecha: 23-2-2020

Magnitud Light Pollution Map (2015): 20,31

Magnitud cénit: 19,95

Temperatura media: 12,04°C

Altura: 757 m

Latitud: 40:15:10.0 N

Longitud: 3:21:19.6 W

En esta última medida a lo largo de la carretera A-3, siendo el punto más alejado de Madrid en el que se han recogido datos, vemos que la magnitud en el cénit es la mayor de la serie. Se mantiene la contribución al noroeste de Madrid aunque por proximidad podría ser que se sumara a ella la luz emitida desde Arganda del Rey, no podemos diferenciarlas ya que están en línea recta pero la contribución de Madrid con casi total seguridad es mayor.

También vemos una pequeña influencia al sureste que podría estar debida a una gasolinera situada en el kilómetro 37 de la carretera.

El incremento respecto a los datos modelados es de 0,36 magnitudes, concluye la serie manteniendo la tendencia de mayor brillo del esperado, puede deberse a que con los años se ha quedado corta la estimación debido al desarrollo de las ciudades y el incremento de iluminación artificial generalizado.



### 3.1.6 Azotea Calle del Pintor Rosales, Argüelles, Madrid.

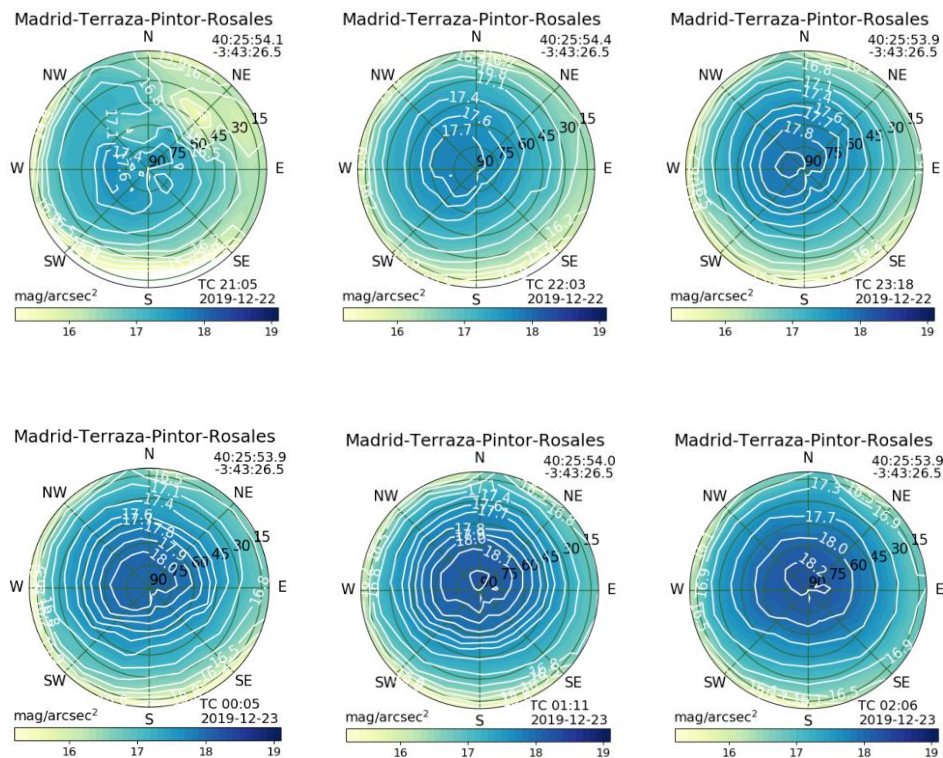


Figura 17: Evolución de las medidas de brillo de cielo desde una azotea del centro de Madrid.

Fecha: 22-12-2019

Latitud: 40:25:54 N

Longitud: 3:43:26.5 W

Hora 21:05 22:03 23:18 00:05 01:11 02:06

Magnitud en el cénit 17,63 17,78 17,92 18,05 18,24 18,27

Magnitud TESS-stars5-UCM<sup>9</sup> 17,95 18,02 18,21 18,27 18,31 18,33

En esta ocasión se trata de una toma de datos un poco diferente, se realiza desde la azotea de un edificio de ocho plantas en el barrio de Argüelles, lo que se puede considerar Madrid centro, son seis series de datos con una hora de intervalo de tiempo entre ellas. Se puede observar que a medida que avanza la noche el brillo disminuye y por tanto aumenta la magnitud registrada por el fotómetro.

También se incluye una comparación con el fotómetro instalado en la azotea de la Facultad de Físicas de la UCM, se puede ver que la magnitud allí es ligeramente superior, pero el comportamiento de aumentar conforme avanza la noche se mantiene.

El alumbrado público se mantiene encendido durante toda la noche, por lo que no afecta a la evolución de las medidas, si se puede deber el cambio a las luces de los domicilios cercanos y en concreto en la dirección sureste se ve una disminución de brillo cuando se apagan las luces ornamentales de lugares públicos como el Templo de Debod y el Palacio Real, ambos situados prácticamente en línea desde el punto de observación.



### 3.1.7 Comparativa de las distintas localizaciones.

A continuación se procede a realizar una comparativa de los seis lugares en los que se han realizado las medidas, como se puede observar en la siguiente imagen, se ha buscado que los puntos de observación siguieran aproximadamente una línea recta alejándose del centro de Madrid.

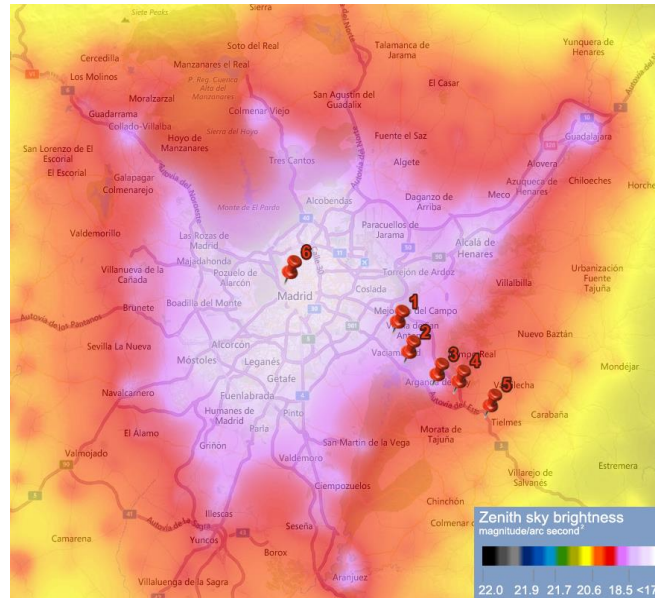


Figura 18: Localización de las medidas sobre el Light Pollution Map (2015).

Los lugares están separados por unos 5 kilómetros entre si, y aunque es poca la distancia se observa una disminución de brillo significativa conforme aumenta la distancia al centro.

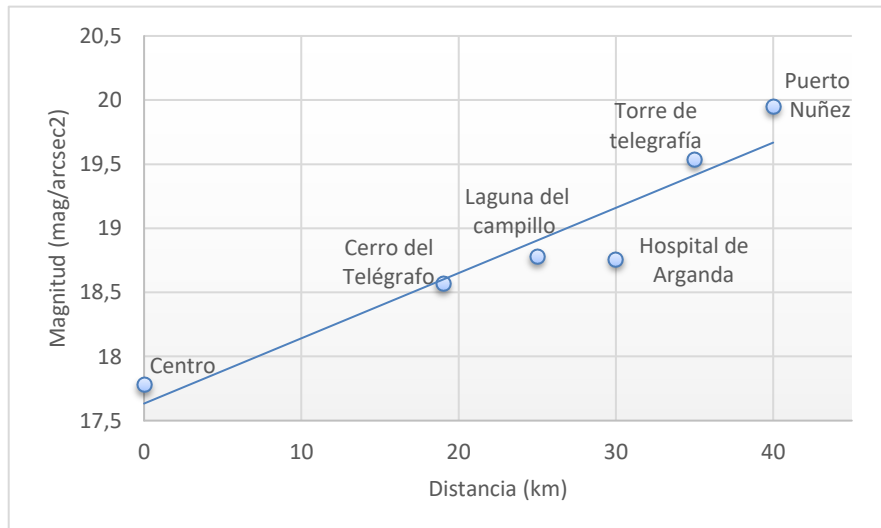


Figura 19: Incremento de magnitud en función de la distancia al centro de la ciudad.

En el caso del Hospital de Arganda vemos que la magnitud es prácticamente igual a la medida anterior, puede deberse de nuevo a que es la medida realizada más cerca de un centro urbano.

### 3.2 Medidas de evolución.

A continuación se presentan las medidas tomadas desde Puerta del Ángel, Madrid, con el TAS en modo evolución apuntando al cénit para tener registros de noches completas.

En las gráficas se puede observar la evolución de brillo de cielo del fotómetro TAS58C y la comparativa con el fotómetro TESS-stars1 de Coslada, perteneciente a la red de fotómetros TESS-W.

La toma de datos se ha realizado tanto en noches despejadas como en noches con nubes, por lo que hay que tener en cuenta que la magnitud es mayor cuando el cielo está cubierto, debido a que las nubes reflejan la luz.

Noche del 13-04-2020 al 14-04-2020:

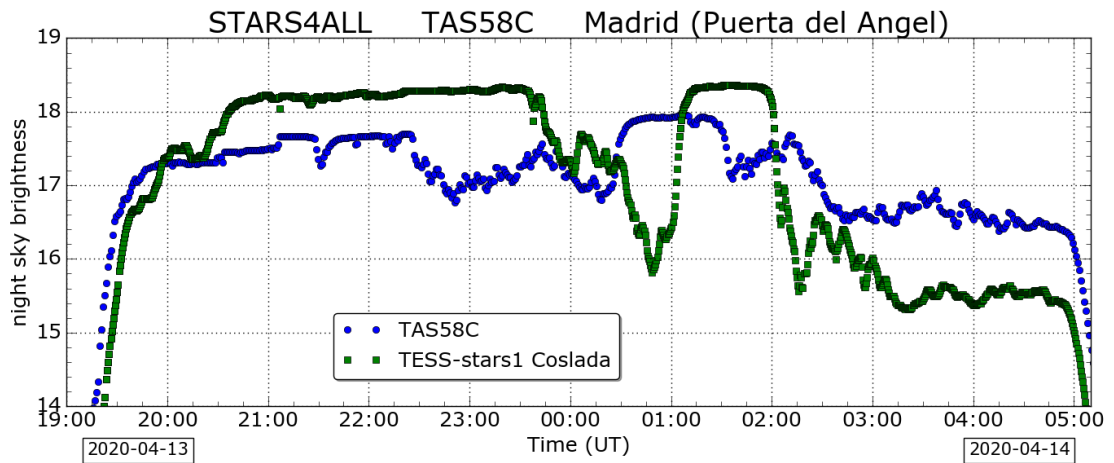


Figura 20: Medida de evolución de brillo de cielo, noche del 13 al 14 de Abril de 2020.

Noche del 17-04-2020 al 18-04-2020:

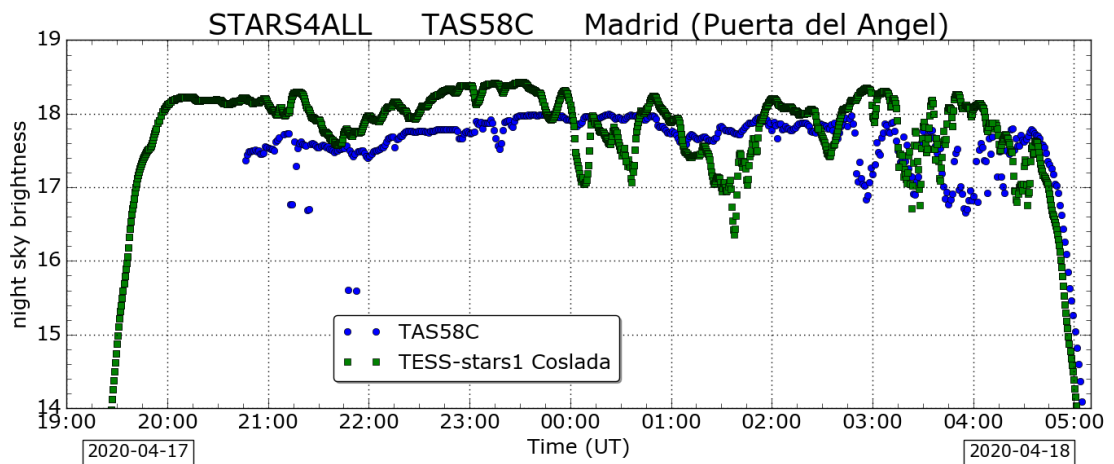


Figura 21: Medida de evolución de brillo de cielo, noche del 17 al 18 de Abril de 2020.

Noche del 19-04-2020 al 20-04-2020:

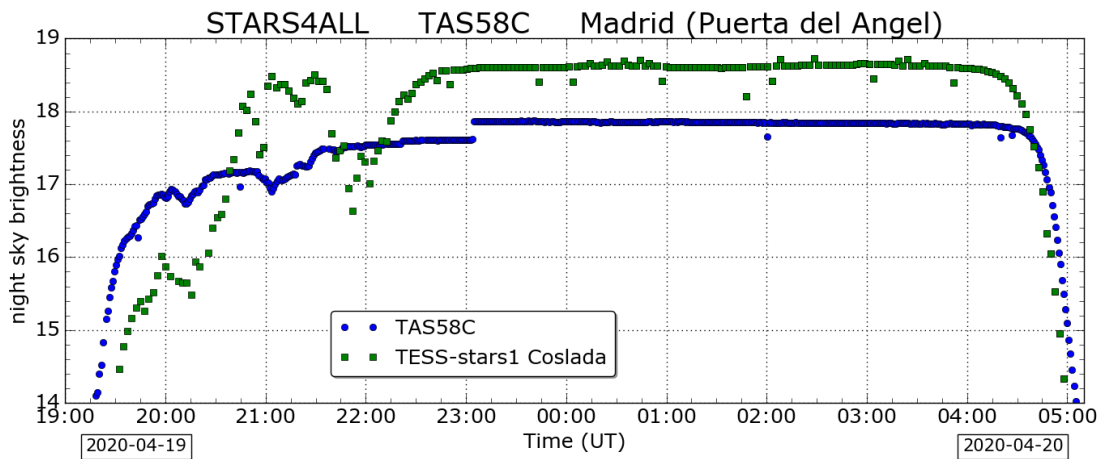


Figura 22: Medida de evolución de brillo de cielo, noche del 19 al 20 de Abril de 2020.

Noche del 21-04-2020 al 22-04-2020:

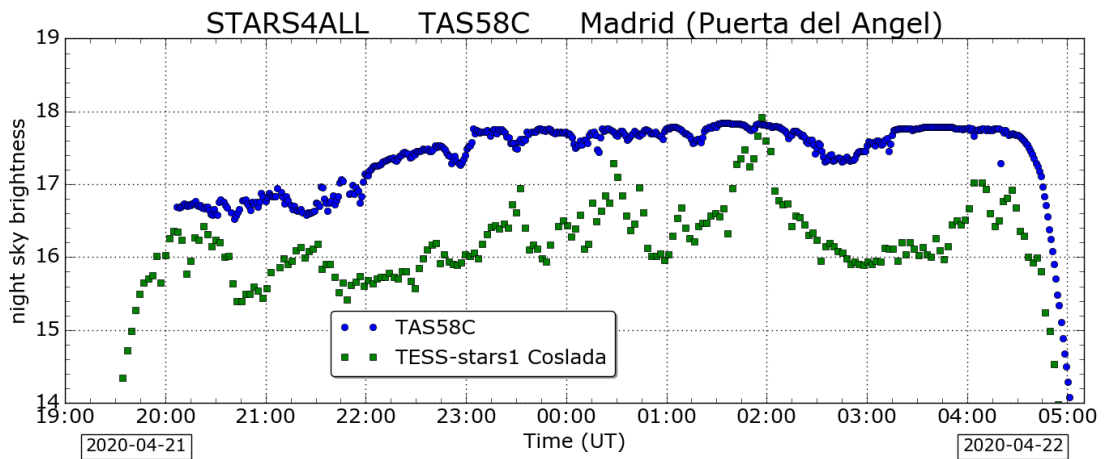


Figura 23: Medida de evolución de brillo de cielo, noche del 21 al 22 de Abril de 2020.

Noche del 22-04-2020 al 23-04-2020:

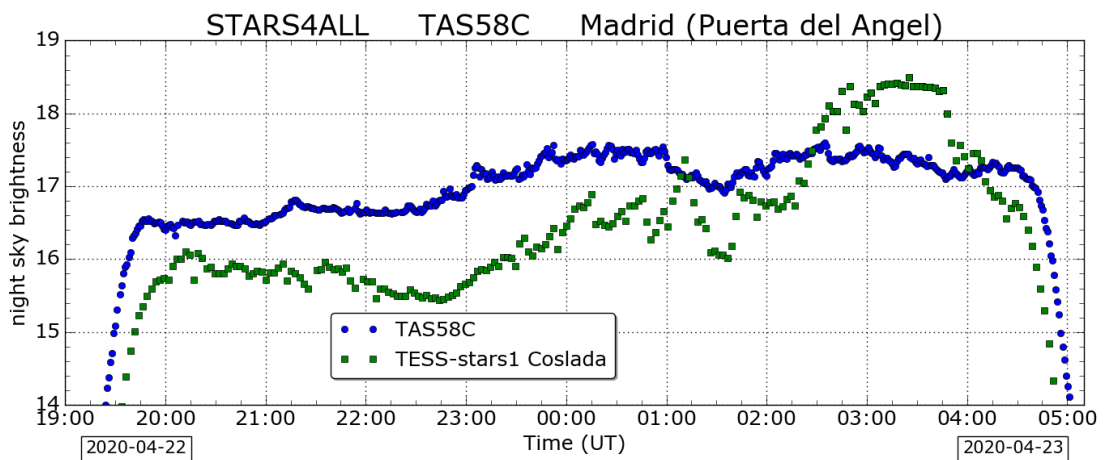


Figura 24: Medida de evolución de brillo de cielo, noche del 22 al 23 de Abril de 2020.

Noche del 23-04-2020 al 24-04-2020:

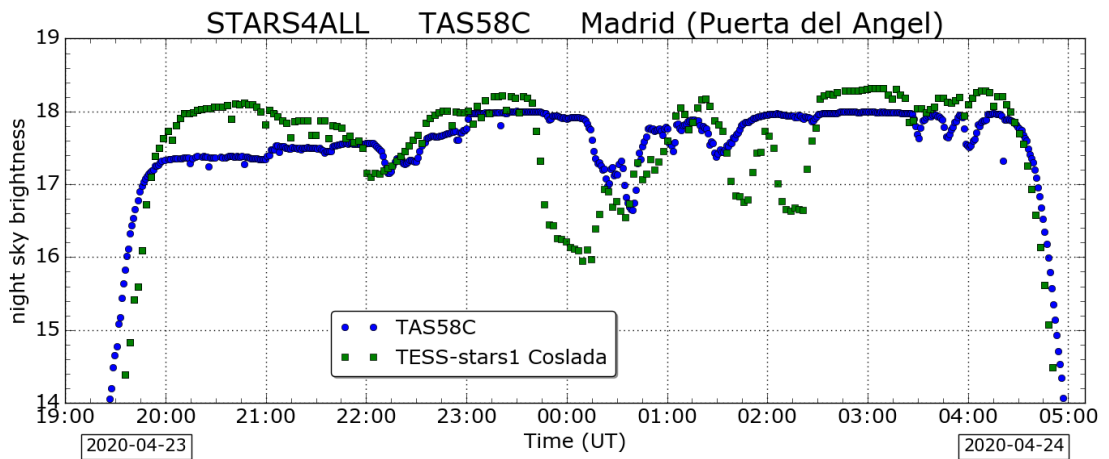


Figura 25: Medida de evolución de brillo de cielo, noche del 23 al 24 de Abril de 2020.

Noche del 10-05-2020 al 11-05-2020:

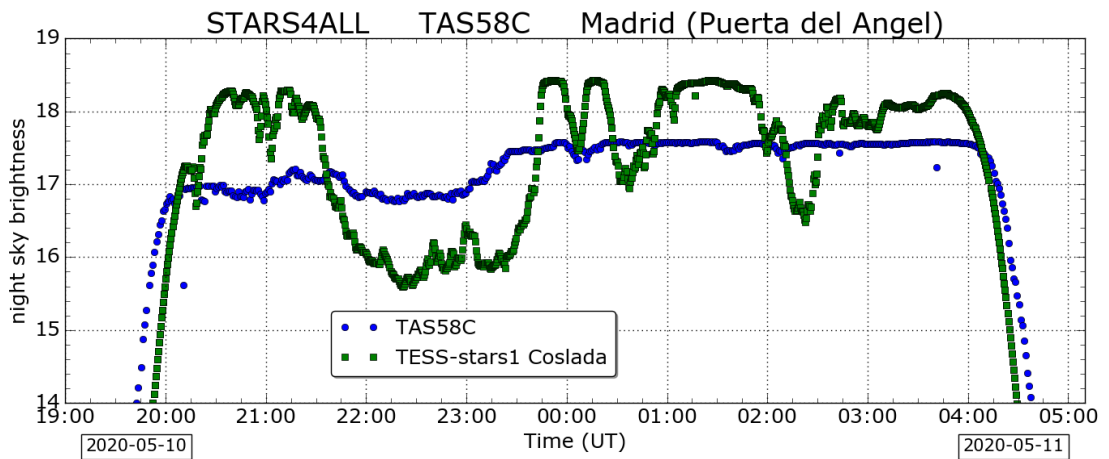


Figura 26: Medida de evolución de brillo de cielo, noche del 5 al 6 de Mayo de 2020.

Noche del 13-05-2020 al 14-05-2020:

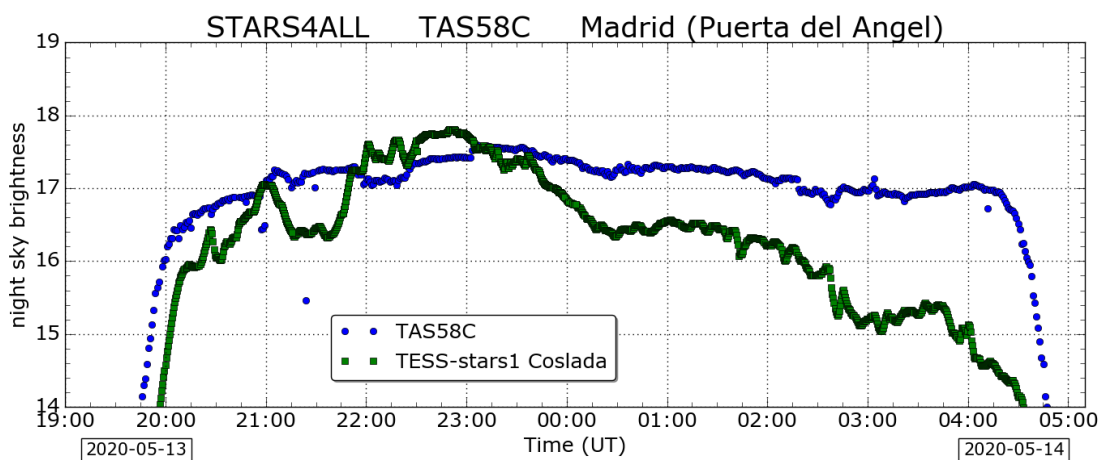


Figura 27: Medida de evolución de brillo de cielo, noche del 13 al 14 de Mayo de 2020.

Noche del 14-05-2020 al 15-05-2020:

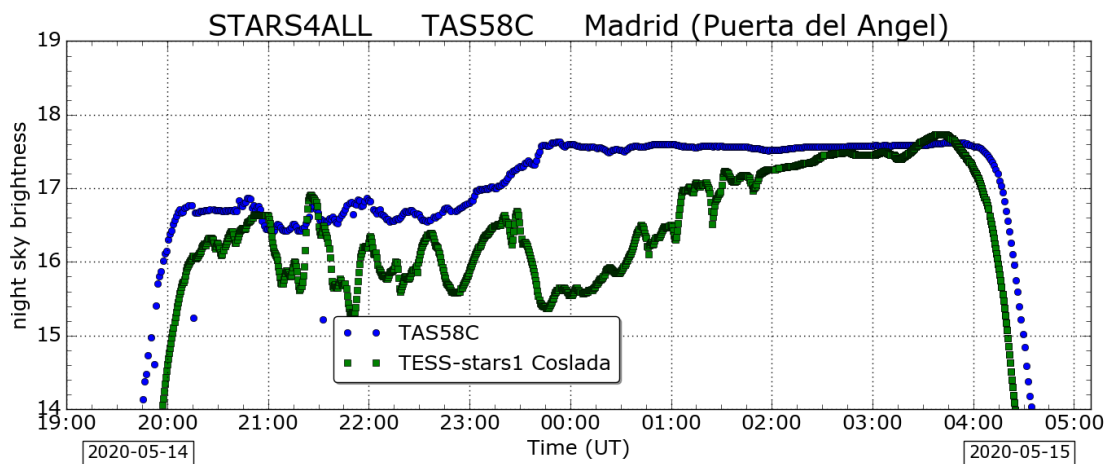


Figura 28: Medida de evolución de brillo de cielo, noche del 14 al 15 de Mayo de 2020.

Noche del 17-05-2020 al 18-05-2020:

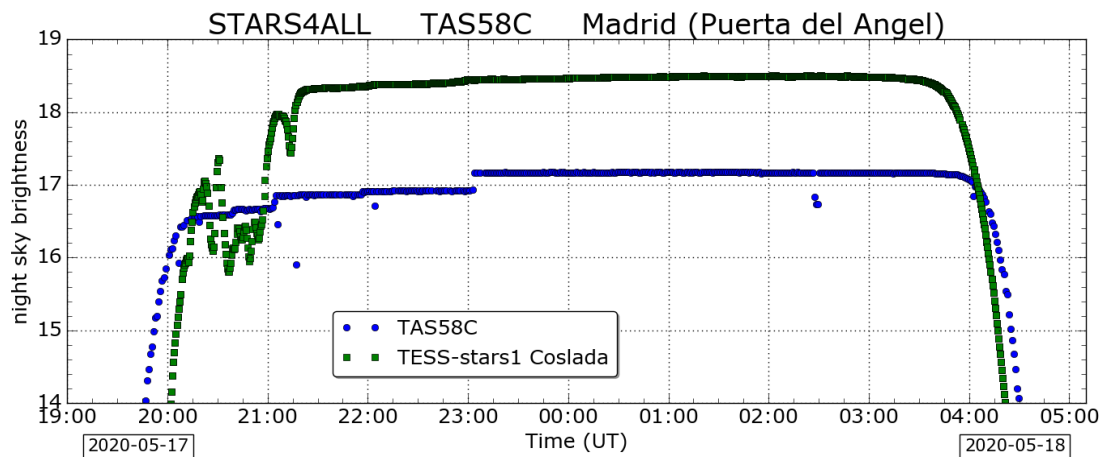


Figura 29: Medida de evolución de brillo de cielo, noche del 17 al 18 de Mayo de 2020.

Como se puede observar en la mayoría de las gráficas los datos de Coslada alcanzan un valor máximo de la magnitud mayor, esto coincide con el hecho de que Coslada se encuentra más alejada del centro de Madrid.

Tiene especial importancia la presencia de nubes durante la toma de datos, las zonas en las que la magnitud se mantiene aproximadamente constante corresponden a momentos de la noche en los que el cielo estaba despejado, sin embargo cuando está cubierto de nubes, los datos presentan una gran variabilidad.

En concreto, si se atiende a la figura 23, se observa un desplazamiento de los valores de brillo de cielo entre las dos series. La forma aproximada de la función es parecida pero los datos del TAS58C se encuentran desplazados hacia la derecha, por ejemplo en los intervalos (22:00-22:30) y (00:00-00:30), primero se ve la disminución de magnitud en Coslada y después en Puerta del Ángel, lo que puede coincidir con una masa de nubes desplazándose sobre los puntos donde se toman los datos, en la dirección este-oeste.

## 4. Conclusiones.

A lo largo de la realización de este trabajo se ha podido observar que el impacto de la luz de las ciudades tiene un alcance mucho mayor del esperado, mostrando su influencia en puntos que a priori deberían recibir mayor contaminación lumínica de otros focos más cercanos.

Es indudable la correlación entre la distancia a la que se encuentra el centro de la ciudad y la magnitud en el cénit que se alcanza. Algunos lugares de estudio que estaban planificados para este trabajo y no han podido realizarse debido a las medidas de confinamiento impuestas en el territorio español son: el Monte de la Atalaya situado entre Villarejo de Salvanés y Fuentidueña del Tajo y la Hermita de la Virgen de Alarilla a continuación de Fuentidueña. Con estos dos lugares se completaría el estudio en la dirección de la carretera que se comenzó con las medidas en la localidad de Rivas, llegando hasta casi el límite de la Comunidad de Madrid con Castilla la Mancha. Para estas localizaciones se esperarían valores de contaminación lumínica menores que los expuestos.

Con las medidas realizadas durante el confinamiento queda en evidencia que el brillo de cielo en el centro de la ciudad es mayor que en los alrededores, independiente de las condiciones atmosféricas o la presencia de la luna.

Se hace necesario atajar el problema de la contaminación lumínica, por un lado apoyado en el derecho a los cielos oscuros reconocido por la UNESCO y por otro para no complicar más la búsqueda de nuevos emplazamientos para realizar observaciones astronómicas.

Por todo esto es importante que se sigan realizando estudios de este tipo, para recordar la necesidad del cambio, pero también que se actúe con leyes que busquen no solo la limitación si no también la homologación de las luces de la ciudad, promoviendo por ejemplo el diseño de luminarias que dirijan de forma efectiva la luz en la dirección necesaria, en lugar de hacia el cénit o extendiéndose en la horizontal.

También se podría promover la denominación de espacios libres de luz. En este sentido podría ser un buen modelo el propuesto en la llamada Ley GICA <sup>10</sup>, por la cual se pretende proteger espacios naturales o zonas de especial interés para la investigación científica. Aunque la falta de obligación a los consistorios de poner en práctica esta ley hace que no sea una máxima la aplicación de la misma.

Con todo, se están haciendo avances en la concienciación sobre la necesidad de proteger de forma activa las condiciones de oscuridad del cielo, pudiendo obtener todos los beneficios que ello aporta a nuestra sociedad y su entorno. Sigamos trabajando para que la calidad de los cielos nocturnos sea una realidad.



## 5. Referencias.

- [1] Ron Chepesiuk. (2009). "Missing the dark: health effects of light pollution". PMID: 19165374
- Rol de Lama, MA.; Baño, B.; Martínez, A.; Bonmatí, MA.; Ortiz, E.; y Madrid, JA.; (2011). "El lado oscuro de la luz: Efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana".
- Juan J. Negro. (2016). "Mejor en el lado oscuro: efectos de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad y la salud humana" *Chronica naturae*, 6: 6-12.
- [2] Zamorano, J.; Sánchez de Miguel, A.; Martínez, D. y Alfaro, E. (2011). "Proyecto NixNox, disfrutando de cielos estrellados en España".
- [3] Web proyecto NixNox. URL: <https://nixnox.stars4all.eu/>
- [4] Falchi, F.; Cinzano, P.; Duriscoe, D.; Kybe, CC.; Elvidge, CD.; Baugh, K.; Portnov, BS.; Rybnikova, NA.; y Furgoni. R., (2016). "The new world atlas of artificial night sky brightness". PMID 27386582.
- [5] Zamorano, J.; García, C.; González, R.; Tapia, C.; Sánchez de Miguel, A.; Pascual, S.; Gallego, J.; González, E.; Picazo, P.; Izquierdo, J.; et al. STARS4ALL Night Sky Brightness Photometer. *Int. J. Sustain. Light*. 2016, 35, 49–54.
- [6] Mapa topográfico. URL: <https://es-es.topographic-map.com/>
- [7] Cristobal García, (2017). "TESS Telescope Encore & Sky Sensor".
- [8] García, L.; Zamorano, J.; García, C.; Tapia, C.; Gonzalez, R.; Pascual, S.; Gallego, J.; Gonzalez, E.; y Corcho, O., (2018). "STARS4All TESS-W night sky brightness photometer".
- [9] Datos TESS-stars5-UCM. URL: [https://tess.dashboards.stars4all.eu/d/tess\\_raw/s4a-photometer-network-raw?orgId=1&var-Tess=stars5&from=1577034000000&to=1577086200000](https://tess.dashboards.stars4all.eu/d/tess_raw/s4a-photometer-network-raw?orgId=1&var-Tess=stars5&from=1577034000000&to=1577086200000)
- [10] Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental. BOE-A-2007-15158