

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS**

DEPARTAMENTO DE FÍSICA DE LA TIERRA Y ASTROFÍSICA (FTA)



**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

Código de TFG: FTA17

Título: Análisis de contaminación lumínica mediante medidas de brillo de cielo

Title: Study of Light Pollution using Night Sky Brightness observations

Supervisor: Jaime Zamorano

**Nombre del alumno: Enrique Vasallo Fernández**

Grado en Física

Curso académico 2021-22

Convocatoria julio

## Resumen

La contaminación se inscribe en el marco de las preocupaciones sociales, políticas, económicas y, por supuesto, científicas del nuevo siglo como una de las principales realidades que rigen el presente y el futuro inmediato. Aunque la comunidad científica lo advertía desde hace décadas, ahora, cuando sus efectos asolan todo el globo, ha trascendido al ideario colectivo. Contaminación energética, del suelo, del agua y también la contaminación lumínica. Sin embargo, esta última queda relegada a un segundo plano cuando se antepone las enormes estructuras sobreiluminadas de cualquier ciudad. Y esto no solo afecta a la observación astronómica, sino al bienestar del ecosistema y del ser humano en su conjunto. En el presente estudio se mostrarán los resultados obtenidos tras medir el cielo nocturno en distintos emplazamientos de España (Madrid, Valladolid y Zamora) con el fotómetro TESS (TAS), para comprobar la situación en la que se encuentra nuestro país, en lo que a visibilidad nocturna y contaminación lumínica se refiere, y exponer los datos obtenidos mediante gráficas realizadas con Python para, finalmente, desarrollar las conclusiones que apoyan la hipótesis principal de este trabajo: la contaminación lumínica es un problema grave que condiciona la actualidad y el futuro de las observaciones astronómicas.

## Abstract

Pollution is part of the social, political, economic and, of course, scientific concerns of the new century as one of the main realities governing the present and the immediate future. Although the scientific community has been warning about it for decades, now, when its effects are devastating the entire globe, it has transcended the collective ideology. Energy pollution, soil pollution, water pollution and also light pollution. However, the latter is relegated to the background when the huge overlit structures of any city are placed in the foreground. And this not only affects astronomical observation, but also the well-being of the ecosystem and human beings as a whole. This study will show the results obtained after measuring the night sky in different locations in Spain (Madrid, Valladolid and Zamora) with the TESS photometer (TAS), to check the situation in which our country is, as far as night visibility and light pollution are concerned, and expose the data obtained through graphs made with Python to finally develop the conclusions that support the main hypothesis of this work: light pollution is a serious problem that affects the present and the future of astronomical observations.

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. La contaminación lumínica, efectos y soluciones . . . . .	1
1.2. Derecho a cielos oscuros y no contaminados . . . . .	2
1.3. El nuevo atlas mundial del brillo del cielo nocturno artificial . . . . .	3
<b>2. Objetivos y Metodología</b>	<b>3</b>
2.1. Equipo: fotómetro TAS y toma de datos . . . . .	4
2.2. Condiciones necesarias para la toma de datos . . . . .	4
2.3. Procesado de datos . . . . .	5
<b>3. Medidas</b>	<b>6</b>
3.1. Madrid . . . . .	6
3.1.1. Parque de la Bombilla . . . . .	6
3.1.2. Cerro del Tío Pío . . . . .	6
3.2. Valladolid . . . . .	8
3.2.1. Aldeamayor Golf . . . . .	9
3.2.2. La Parrilla . . . . .	10
3.2.3. Tiedra . . . . .	10
3.3. Zamora . . . . .	12
3.3.1. Belver de los Montes . . . . .	12
3.3.2. Castronuevo de los Arcos . . . . .	13
3.3.3. La Laguna de los Peces . . . . .	14
3.3.4. Pedralba de la Pradería . . . . .	16
<b>4. Conclusiones y futuras aportaciones</b>	<b>17</b>

# 1. Introducción

Svante Arrhenius, profesor y científico sueco y Premio Nobel de Química (1903), afirmó en 1896 el peligro potencial que suponía la liberación de  $CO_2$  derivado del uso de los combustibles fósiles para las condiciones climáticas del planeta [1]. Las consecuencias iban desde el aumento de las temperaturas en todo el globo (lo que se denominó como “calentamiento global”) y el consiguiente deshielo de los casquetes polares, hasta la desaparición de especies, sequías, lluvias torrenciales y un largo etcétera. Casi 90 años más tarde, en 1987, se alcanzó en Montreal un consenso internacional tras el cual 46 países acordaron tomar medidas encaminadas a frenar el crecimiento del agujero de ozono. En Kyoto (1997) fueron 192 los países que se comprometieron de forma vinculante a reducir los gases denominados “de efecto invernadero”. El S.XXI comenzaba con la asunción de una crisis climática que abandonaba la teoría para convertirse en una realidad palpable.

La palabra contaminación consiguió expandirse más allá de las esferas científicas para pasar a un plano social, político y económico. La problemática no se limitaba al efecto invernadero: contaminación hídrica, térmica, del suelo, acústica, visual y lumínica se sumaron a la ecuación. Actualmente, desde el plano internacional, están en marcha los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) recogidos por la Agenda 2030, de los cuales tres hacen referencia específica a la contaminación, a saber: el ODS 6, sobre agua limpia y saneamiento, el ODS 11, sobre ciudades y comunidades sostenibles y el ODS 13, sobre el cambio climático. Pero ¿qué ocurre con el cielo?

Si bien la UNESCO en la Declaración Mundial en Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a Observar las Estrellas [2] afirmaba con rotundidad que el derecho a un “cielo nocturno no contaminado” era inalienable al ser humano y “equiparable al resto de derechos ambientales, sociales y culturales”, la realidad es muy distinta. Como veremos en las siguientes páginas, la contaminación lumínica es, paradójicamente, una de las grandes preocupaciones de la comunidad científica y, a la vez, la gran ignorada en el resto de esferas. De hecho, la mayor parte de los proyectos e investigaciones parten de la iniciativa privada, universitaria o asociativa, como NixNox [4], creado en la Universidad Complutense de Madrid (UCM) por la Sociedad Española de Astronomía (SEA) en 2010, entre cuyos objetivos se encuentra el fomento de la observación y colaboración amateur y profesional gracias a los mapas nocturnos que elaboran y que permiten conocer los emplazamientos donde la observación de cielo profundo será más exitosa.

A continuación, hablaremos detalladamente sobre la contaminación lumínica y los efectos sobre el planeta, incluyendo en los mismos, por supuesto, la problemática de la observación astronómica que deriva de ella, y las posibles soluciones que se han planteado en los últimos años. Dedicaremos en esta introducción un apartado a la legislación y las iniciativas vigentes en España en materia de contaminación lumínica, ya que nos ayudarán a contextualizar la situación actual del asunto. Por último, y antes de adentrarnos en la metodología, planteamos el punto de partida del presente estudio: el nuevo mapa de contaminación lumínico al que se enfrenta, no solo la comunidad científica, sino toda la sociedad.

## 1.1. La contaminación lumínica, efectos y soluciones

La contaminación lumínica es, por definición, “el uso inapropiado y/o excesivo de la luz artificial” (International Dark-Sky Association). La instantánea de la sociedad posmoderna la encontramos en Nueva York, el cielo nocturno de Times Square carece de estrellas. Pero esto ya no solo ocurre en las grandes urbes: prácticamente cualquier territorio del primer mundo realiza un uso desproporcionado de la luz artificial. Los efectos negativos de esta realidad afectan tanto a las

personas como al medio ambiente. Por un lado, produce un incremento del consumo de energía que deriva de manera inmediata en la interrupción del ecosistema y de la fauna, ya que altera muchos de los procesos naturales tanto de las plantas como de las criaturas nocturnas, así como a la migración de las aves.

Asimismo, el ser humano se ve altamente perjudicado por el uso de la luz artificial, que afecta tanto a sus niveles de estrés y ciclos del sueño (altera la producción de melatonina, conocida como “la hormona del sueño”) como a su propia seguridad vial e incluso frente al crimen. En lo que a la observación astronómica respecta, ésta no solo se ve comprometida por el exceso de iluminación urbana, sino que, además, los aerosoles presentes en la atmósfera de las ciudades (principalmente derivados de la contaminación energética, automovilística, etc.) afectan a la difusión de la luz artificial ya que generan hongos lumínicos más grandes e intensos.

Ante esta situación se plantean diversas medidas que pueden paliar los efectos contaminantes de la luz, tales como cambiar las lámparas hechas con materiales altamente contaminantes (como las de vapor de mercurio a alta presión y halogenuros metálicos) por aquellas hechas con materiales medianamente contaminantes (incandescentes y halógenas) y poco contaminantes (vapor de sodio a baja presión y vapor de sodio a alta presión), potenciar el uso de lámparas LED, modificar el mapa del alumbrado urbano para iluminar solo aquellas zonas que lo necesiten y durante el tiempo que lo necesiten, lo cual también ayudará a reducir el gasto público en electricidad [3], reducir la presencia de luces publicitarias y monumentales, y redirigir el foco del flujo luminoso para que se oriente hacia el suelo, el cual, pese al reflejo inevitable, es mejor opción que dirigir la luz hacia la atmósfera.

## 1.2. Derecho a cielos oscuros y no contaminados

Las personas de las generaciones futuras tienen derecho a una Tierra indemne y no contaminada, incluyendo el derecho a un cielo puro.

---

*Declaración universal de los derechos de las generaciones futuras [9].*

En este apartado nos centraremos en el caso español, aunque si quisiéramos ampliarlo a un ámbito internacional nos encontraríamos con una situación muy similar. La primera Ley que aparece en nuestro sistema es la Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases de Régimen Local, donde se establece que la protección contra la contaminación lumínica y el buen uso del servicio del alumbrado público es competencia municipal. Más de veinte años más tarde, y en relación con los compromisos internacionales y europeos de protección al medio ambiente que se estaban tomando, se publica la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del aire y Protección de la atmósfera, donde, por fin, se define la contaminación lumínica y se dictan las obligaciones que las administraciones públicas tienen respecto a ella.

En el Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre, por el que sea prueba el Reglamento de Eficiencia Energética de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07, se establecen limitaciones de luz intrusa, resplandor luminoso nocturno y niveles de iluminación; tras el cual se publican guías y circulares para su correcta aplicación.

Por otro lado, España también regula sobre evaluación ambiental y de impacto, como ocurre con la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, donde se especifica la obligatoriedad de la evaluación del proyecto con repercusión en la Red Natura 2000, y la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, o la Resolución de 6 de marzo de 2017, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, donde la contaminación lumínica está incluida en el listado de amenazas.

Como podemos ver, frente a otros tipos de contaminación, las medidas tomadas desde los poderes públicos son bastante escasas en nuestro país. Sin embargo, podemos destacar como hito la Conferencia Internacional en Defensa de la Calidad del Cielo Nocturno y el Derecho a Observar las Estrellas [2], donde participaron, entre otros, representantes de la UNESCO, la Organización Mundial del Turismo (OMT), la Unión Astronómica Internacional (IAU), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA-CMS) y Conformidad Europea (CE). En el texto que deriva de la Conferencia se reconoce el deterioro de la calidad del cielo nocturno y que dicho deterioro comienza a representar “un serio riesgo para la continuidad de las observaciones astronómicas” y se califica como “urgente” la protección del cielo nocturno en aras de cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible y de conservación del medio ambiente. Es por ello, hasta ahora, el acontecimiento más relevante en lo que al reconocimiento de la problemática se refiere y, como podemos observar, ha pasado más de una década desde el mismo.

### 1.3. El nuevo atlas mundial del brillo del cielo nocturno artificial

En el artículo de investigación “The new world atlas of artificial night sky brightness” [7] se publican los resultados obtenidos de realizar una aproximación estadística entre los datos tomados por Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) y de la base de datos Sky Quality Meter (SQM) para mapear el cielo nocturno del globo terrestre, en los que se observan datos preocupantes.

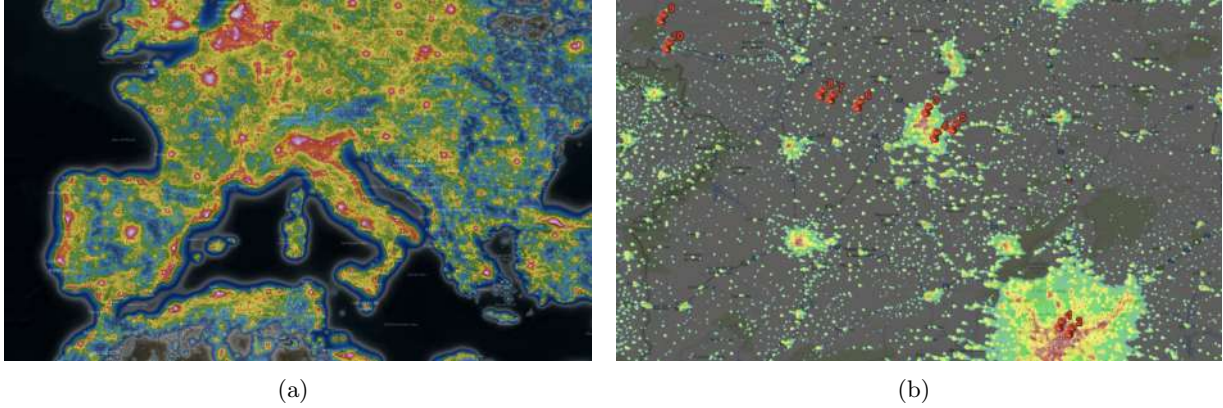
Según este estudio, un tercio de la población (entre el cual se sitúan el 60% de europeos) no pueden ver la Vía Láctea; y no solo eso: en países como Singapur (el más contaminado), la luminosidad es tal que el ojo humano nunca se adapta completamente a la visión nocturna.

Los países menos afectados por la contaminación lumínica son la República de Chad, Madagascar y la República de África Central, los únicos sitios donde la población vive bajo cielos prístinos. ¿Y España? Nuestro país se encuentra entre los países con más contaminación lumínica de aquéllos que integran el G20 y entre los países con más contaminación lumínica por población de todo el listado internacional.

Estos alarmantes datos se han tomado como referencia para la realización del presente estudio, dado que se han tomado datos de la ciudad de Madrid y en las provincias de Valladolid y Zamora para realizar una comparativa entre los datos obtenidos que, como veremos, corroboran con creces lo expuesto en este punto.

## 2. Objetivos y Metodología

Se pretende el estudio del brillo del cielo, medido en  $mag/arcsec^2$ , para estimar la contaminación lumínica e identificar su origen tanto de grandes urbes como de localidades cercanas a ellas y zonas



**Figura 1:** a) Mapa de la contaminación lumínica de la zona mediterránea extraído de Light Pollution Map realizado por [7] b) Detalle del mismo mapa con la capa de VIIRS2021 de las zonas que se han estudiado en este trabajo (Madrid, Valladolid y Zamora). Posteriormente se ampliará cada zona para comparar con las medidas.

apenas contaminadas alejadas de las ciudades. Se proponen localizaciones aptas para la astronomía y se adjuntan tanto mapas All-Sky como fotografías tomadas en dichos puntos.

## 2.1. Equipo: fotómetro TAS y toma de datos

El equipo necesario para la realización de este proyecto es de un fotómetro TAS (TESS – Telescope Encoder & Sky Sensor– Auto Scan). Este dispositivo se encarga de realizar medidas, tanto de brillo –para estimar la magnitud– como de temperatura –para detectar la presencia de nubes–, empezando por encima de los  $10^\circ$  sobre el horizonte de toda la bóveda celeste, realizando 145 medidas en total.

A la hora de tomar datos el trabajo es sencillo: ayudados de un trípode, nivelamos el TAS para que esté totalmente paralelo a la línea que une el zenit con el nadir y lo apuntamos hacia el norte ayudándonos de la estrella Polar –si el cielo que estamos midiendo no está muy contaminado–, con una brújula o con el teléfono móvil. Hay que asegurarse de que el brazo que barre el eje de elevación, donde se encuentran los sensores, esté totalmente apuntando hacia el zenit.

Tras esta puesta en estación podemos encenderlo y conectarlo, vía *Bluetooth*, a nuestro teléfono móvil, que será el encargado, mediante la app *TESS P*, de generar el archivo .txt, geolocalizar la medida e iniciar el escaneado del cielo. Después de escasos minutos, cinco para un cielo suficientemente oscuro, el fotómetro habrá terminado de barrer el cielo y habrá tomado 145 medidas de brillo y temperatura que ahora podemos previsualizar en la pantalla de nuestro teléfono, construyendo así un mapa All-Sky.

Esta forma es, por tanto, la forma automatizada que antes se hacía a mano con transportador de ángulos y un SQM [5].

## 2.2. Condiciones necesarias para la toma de datos

Como el objetivo de este trabajo es el de medir el brillo del cielo para estimar así su calidad y la cantidad de contaminación lumínica presente, tenemos que tener en cuenta ciertos factores para poder comparar las medidas resultantes entre sí y con los modelos. Por tanto, lo más importante para medir el brillo del cielo es que no presente nubosidad pues las nubes aumentan el brillo del

cielo al reflejar la contaminación lumínica.

Este apartado, por tanto, ha sido el que ha determinado el trabajo por la exigencia del mismo. Para poder medir con precisión el brillo del cielo éste tiene que encontrarse en la situación más propicia, además de lo ya comentado de la meteorología, pues dependemos de factores como son: la Luna, el crepúsculo astronómico, la presencia de aerosoles, etc.

Para realizar las medidas he sido más estricto que para salir a observar con mi telescopio amateur o para hacer fotografías de cielo profundo, porque en esas circunstancias puedo salir a observar incluso con una parte del cielo cubierto de nubes.

Hour (CEST)	Clouds			Seeing				Bad Layers			Ground		Celestial bodies
	Low	Mid	High	arc sec.	Index 1	Index 2	Jet stream	Bot (km)	Top (km)	K/100m	Temp	rel. hum.	
19	0	0	20	0.94	5	5	4 m/s	0.0	0.0	0.0 K	27°C	21%	-----U--
20	0	0	28	0.85	5	5	4 m/s	0.0	0.0	0.0 K	24°C	20%	-----M-----
21	0	0	30	0.77	5	5	5 m/s	0.0	0.0	0.0 K	22°C	22%	-----P-----
22	0	0	29	0.79	5	5	6 m/s	0.0	0.0	0.0 K	19°C	26%	-----P-----
23	0	0	25	0.74	5	5	6 m/s	0.0	0.0	0.0 K	17°C	34%	-----P-----
Sat 2022-05-28													
sunrise: 06:54 sunset: 21:53 moonrise: 05:47 moonset: 20:08													
0	0	0	18	0.75	5	5	6 m/s	0.1	0.6	0.9 K	16°C	39%	-----P-----
1	0	0	7	0.87	5	5	7 m/s	0.1	0.5	1.2 K	14°C	39%	-----P-----
2	0	0	0	1.00	5	4	7 m/s	0.3	0.8	0.5 K	13°C	35%	-----P-----
3	0	0	0	1.04	5	3	7 m/s	0.3	0.8	0.6 K	12°C	37%	-----P-----
4	0	0	0	1.02	4	3	7 m/s	0.3	0.7	0.5 K	11°C	36%	-----S--P
5	0	0	0	0.99	5	3	7 m/s	0.3	0.7	0.5 K	11°C	37%	-----MJS-NP
6	0	0	0	1.00	5	3	7 m/s	0.3	0.7	0.5 K	11°C	42%	-----VMJS-NP
7	0	0	0	0.96	5	4	8 m/s	0.1	0.5	1.6 K	12°C	42%	LMVHJSUNP
8	0	0	0	0.97	5	4	9 m/s	0.1	0.5	1.6 K	15°C	42%	LMVHJSUNP

**Figura 2:** Entre astrónomos amateur es habitual el uso de aplicaciones como *Clear Outside* y la web meteorológica Meteoblue, que en su sección de deportes al aire libre y seeing para astronomía, ofrece una muy fiable predicción de porcentaje de nubes por capas, seeing, gradientes de temperatura en las capas del cielo, humedad relativa, la presencia de la Luna por horas y el crepúsculo astronómico, náutico y civil.

La figura 2 corresponde a la previsión meteorológica de la medida para la Laguna de los Peces (figura 15) y la presento como ejemplo de buena calidad del cielo observado, coincidiendo también con la mejor medida de brillo de cielo que he tomado y que se explicará posteriormente.

La calidad del cielo fue el requisito primordial para realizar las medidas, con el objetivo de que éstas no estuvieran determinadas por la presencia de nubes, por lo que se tuvieron también en cuenta los pocos días libres en los que la Luna permite tener el cielo completamente despejado. Por ello, la cantidad de medidas es reducida.

### 2.3. Procesado de datos

El tratamiento de datos parte del fichero .txt que el fotómetro TAS efectúa tras cada medida. Estos ficheros son tratados y analizados mediante un código específico escrito en *Python* desarrollado en el Trabajo Fin de Máster “Nixnox: Automatización y base de datos.” [8]. Este software interpreta los datos generados por el TAS y crea los mapas de brillo del cielo, que vamos a estudiar en la siguiente sección del trabajo, en los que asigna un código de color dependiendo de la magnitud observada en cada región del cielo y crea isofotas<sup>1</sup> por interpolación entre los valores medidos de las distintas coordenadas celestes. Asimismo, el programa se encarga de generar un

<sup>1</sup>Línea que une puntos con el mismo brillo medido en  $mag/arcsec^2$



archivo .csv donde están resumido todos los valores que toma el fotómetro TAS, los que proporciona la aplicación *TESS P* (coordenadas GPS) y datos extra que podemos aportar nosotros y comentarios.

### 3. Medidas

Presentamos y analizamos diferentes medidas estáticas. En este trabajo no se han realizado rutas en coche para medir la variación del brillo del zenit durante la misma, sino que se han tomado en la ciudad de Madrid y en la provincia de Valladolid y Zamora.

#### 3.1. Madrid

##### 3.1.1. Parque de la Bombilla

El parque de la Bombilla se ubica en paralelo al parque del Oeste. En él se encuentran varios pasos elevados para salvar las vías de la línea de cercanías de Renfe y que nos sitúan por encima de las farolas que iluminan las plazas del parque y las de la Avenida de Valladolid.

Si se escoge bien la posición se puede conseguir ocultar el resto de farolas tras las ramas de los árboles para no tener fuentes de luz directas en las medidas.

La zona intensamente iluminada entre el NE y el E corresponde a las fuentes de luz de la propia vía ferroviaria y al alumbrado monumental de la Catedral de la Almudena.

La zona más oscura en la zona norte del horizonte es una zona de árboles sin farolas. Vemos un zenit muy brillante con apenas  $17.5 \text{ mag/arcsec}^2$  en la zona más oscura: un cielo de gran ciudad completamente contaminado donde tan solo podemos ver algunas de las estrellas principales de las constelaciones más brillantes.

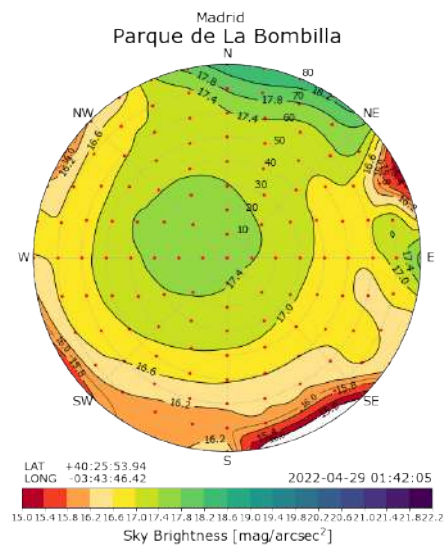


Figura 3

Localización	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Fecha y Hora	Localidades cercanas [km]	Dirección	Fuentes de luz y orientación	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]	Seeing
Parque de La Bombilla	+40:25:53.94	-03:43:46.42	644	29-04-2022 01:42	Madrid		Vía ferroviaria NE Catedral de la Almudena E	12	46	3-4

Cuadro 1: Resumen de los datos de Parque de La Bombilla

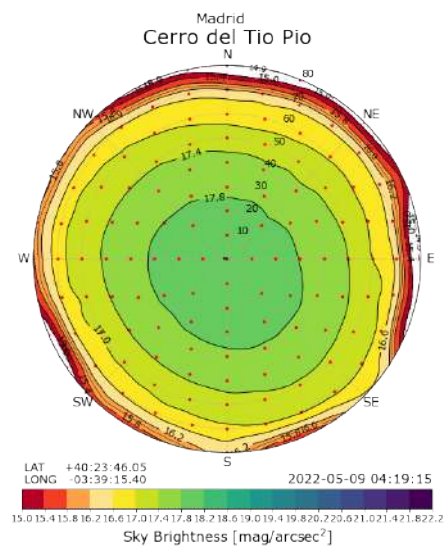
##### 3.1.2. Cerro del Tío Pío

Con el propósito de buscar una localización más elevada para poder tener el horizonte muy despejado me trasladé al Cerro del Tío Pío. Esto permite ver las dimensiones de la tragedia en todo su esplendor: kilómetros de luces encendidas y apenas treinta o cuarenta estrellas en el cielo.

Podemos ver con claridad cómo la magnitud del brillo del cielo aumenta cuanto más nos acercamos al zenit, con unos anillos de igual brillo muy bien diferenciados entre sí.



(a)



(b)

**Figura 4:** a) Panorámica realizada desde la localización escogida en el Cerro del Tío Pío con un teléfono móvil Samsung S8. b) Mapa del brillo del cielo generado por el fotómetro TAS.

Localización	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Fecha y Hora	Localidades cercanas [km]	Dirección	Fuentes de luz y orientación	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]	Seeing
Cerro del Tío Pío	+40:23:46.05	-03:39:15.40	735	9-05-2022 04:19	Madrid		Todo el horizonte	14	64	5-4

**Cuadro 2:** Resumen de los datos del Cerro del Tío Pío.

La figura 5 da cuenta de que el cielo de Madrid está completamente contaminado y su influencia no se limita a la capital, sino que se extiende y se ramifica siguiendo las salidas de Madrid hacia las ciudades dormitorio. Sin embargo, sus efectos no se limitan a eso, sino que llegan mucho más allá [6].



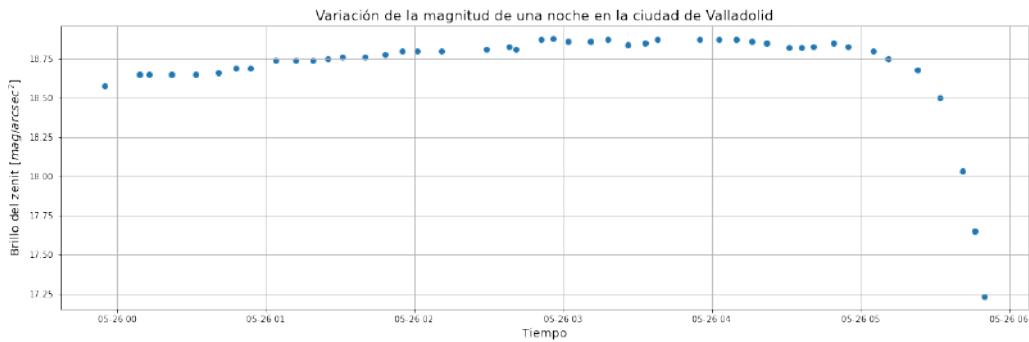
**Figura 5:** Medida 1) Parque de la bombilla. Medida 2) Cerro del Tío Pío.

### 3.2. Valladolid

Al ser Valladolid una ciudad bastante llana, unas medidas desde una azotea próxima al centro de la ciudad deberían ser un buen indicador de la calidad general del cielo nocturno.

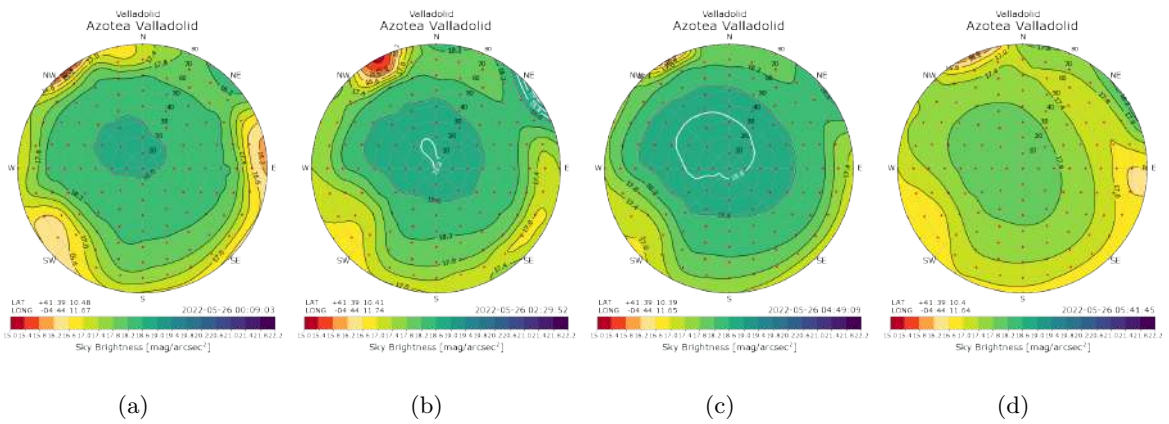
Se tomaron cerca de medio centenar de medidas durante varias horas para ver la variación del cielo nocturno de la ciudad a medida que los bloques de edificios apagaban las luces de las ventanas, se minimizaba el tráfico y se adentraba la noche.

La primera medida es de las 23:55, cerca del crepúsculo astronómico; y la última, de las 05:50, empezando ya a aparecer ese azul del que se tiñe el cielo antes de llegar a amanecer. Se alcanza la mejor medida en torno a las 4 de la madrugada, cuando se llega a observar un brillo del cielo de  $18.8 \text{ mag/arcsec}^2$ .



**Figura 6:** Representación de los datos del zenit extraídos de cada medida All-Sky para poder graficarlos.

Se aprecia también que el cielo en Valladolid a las 5:41 de la mañana es, al menos, de la misma calidad que el de Madrid en noche cerrada.



**Figura 7:** Se seleccionan cuatro mapas a modo de ejemplo para poder ver la variación del brillo.

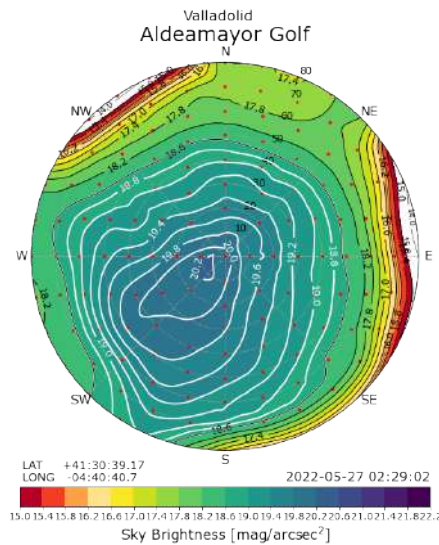
Localización	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Fecha y Hora	Localidades cercanas [km]	Dirección	Fuentes de luz y orientación	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]	Seeing
Centro Valladolid	+41:39:10.48	-04:44:11.67	755	26-05-2022 23:55 - 05:53	Valladolid		Edificios y calles cercanas	15-7	56-90	4-1

**Cuadro 3:** Resumen de los datos del Centro de Valladolid desde una azotea.

### 3.2.1. Aldeamayor Golf

Tras alejarnos aproximadamente 18 km del punto de la medida anterior, tomamos otra desde una urbanización residencial con campo de golf, varias avenidas excesivamente iluminadas, parques, luces en los jardines de las casas muy intensas y mal direccionadas para aumentar la sensación de seguridad, etc.

Alcanzamos los primeros valores de brillo de  $20 \text{ mag/arcsec}^2$ , justo en el zenit, en el interior de una población a escasos kilómetros de una capital de provincia. La zona de valores de rojo intenso y blanco tiene un salto entre medias de valores más oscuros porque justo ahí se halla la casa desde donde se han obtenido los datos, tapando las farolas de la calle en la que se encuentra.



**Figura 8:** Cielo completamente despejado.

Localización	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Fecha y Hora	Localidades cercanas [km]	Dirección	Fuentes de luz y orientación	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]	Seeing
Aldeamayor Golf	+41:30:39.17	-04:40:40.7	762	27-05-2022 02:29	Valladolid 16 Aldeamayor de San Martín 3.2	N-NW E	Calle que recorre del NW a E	10	80	4-1

**Cuadro 4:** Resumen de los datos de Aldeamayor Golf.

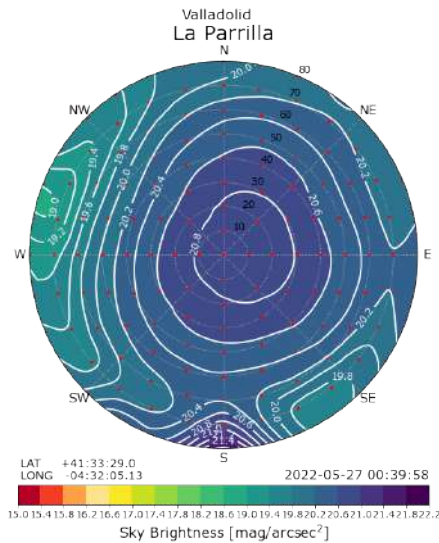
### 3.2.2. La Parrilla

No muy lejos (a 12 km de Aldeamayor Golf) se ubica una de las localizaciones donde se reúne el Grupo Universitario de Astronomía de la Universidad de Valladolid (GUA-Syrma) a hacer sus observaciones. Se encuentra en la localidad de La Parrilla, a 27 km de la Facultad de Ciencias de Valladolid; y, como se puede ver en la figura 9, empezamos a disfrutar un cielo bastante más oscuro que en el caso anterior.

Podemos apreciar la gran zona de contaminación en el horizonte en la dirección W-NW que se corresponde con la ciudad de Valladolid. Tenemos un gran porcentaje del cielo cuyo brillo supera las  $20 \text{ mag/arcsec}^2$ .

Localización	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Fecha y Hora	Localidades cercanas [km]	Dirección	Fuentes de luz y orientación	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]	Seeing
La Parrilla	+41:33:29.0	-04:32:05.13	912	27-05-2022 00:39	Valladolid 19 Tudela de Duero 5 La Parrilla 2	NW NW S	Valladolid NW Tudela de Duero NW La Parrilla S	12	78	4-2

**Cuadro 5:** Resumen de los datos de La Parrilla.



(a)



(b)

**Figura 9:** a) Mapa All-Sky del brillo del cielo de La Parrilla. b) Fotografía hecha con un Samsung S22+ de 30s de exposición a ISO 3200, orientación NE-E.

### 3.2.3. Tiedra

Para finalizar con la provincia de Valladolid presentamos las medidas de Tiedra y alrededores. Ya que el Centro Astronómico de Tiedra está acreditado como Parque Internacional Starlight me desplazé hasta allí para comprobar cuáles son las condiciones del cielo necesarias para recibir el

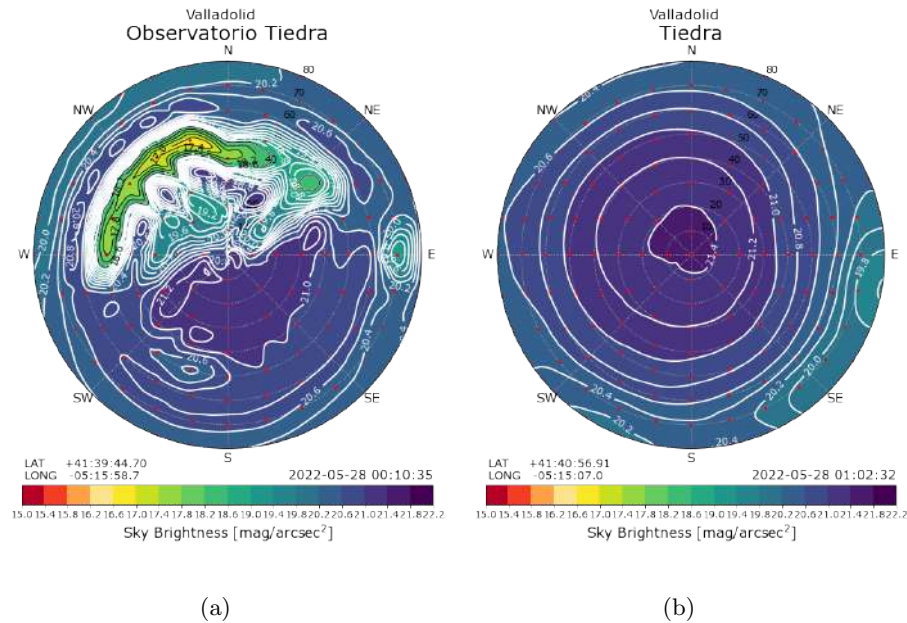
sello Starlight.

Desgraciadamente, durante la medida en el Centro, un agricultor con su cosechadora comenzó a trabajar en el campo contiguo y estropeó las medidas. La adjunto para hacer notar cómo, con tan solo una cosechadora con los faros encendidos apuntando al campo donde se está trabajando, se puede llegar a influir en la calidad del cielo.

En los alrededores de Tiedra se llega a tener un cielo con un brillo de  $21.4 \text{ mag/arcsec}^2$  y se puede observar cómo el brillo se reduce paulatinamente en magnitudes de manera muy homogénea con respecto a la elevación. La zona brillante que se observa en el este es la contaminación de la ciudad de Valladolid a 45 km de distancia.

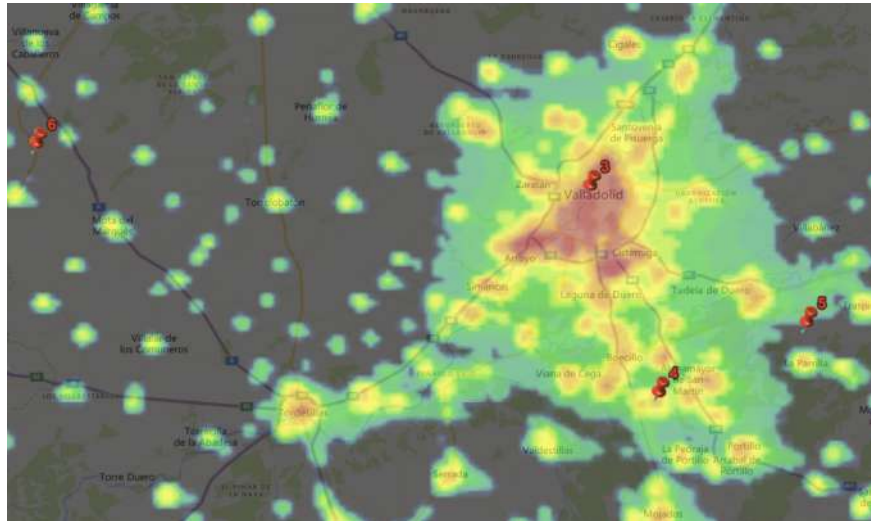
Localización	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Fecha y Hora	Localidades cercanas [km]	Dirección	Fuentes de luz y orientación	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]	Seeing
Tiedra	+41:40:56:91	-05:15:07.0	872	28-05-2022 01:02	Valladolid 45 Tiedra 3	E-SE S	Valladolid E-SE Tiedra S	14	28	5-5

**Cuadro 6:** Resumen de los datos de los alrededores de Tiedra.



**Figura 10:** a) Medida estropeada. b) La medida repetida unos cuantos kilómetros alejándome de las tierras de labranza.





**Figura 11:** Medida 3) Valladolid centro. Medida 4) Aldeamayor Golf. Medida 4) La Parrilla. Medida 6) Tiedra.

### 3.3. Zamora

Ya en la provincia de Zamora, pero intentando mantenernos lo suficientemente alejados de la capital, vamos a alternar medidas en pequeñas poblaciones y medidas lo más apartados de fuentes de luz posible.

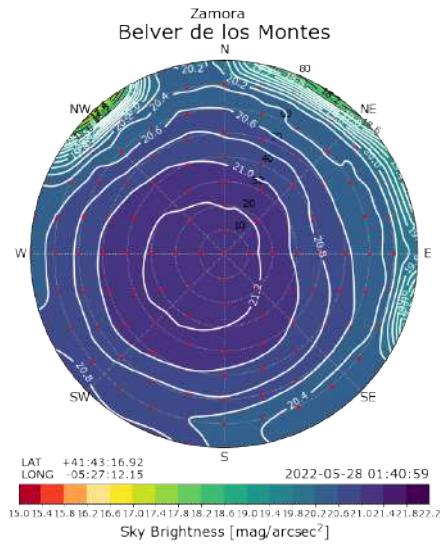
#### 3.3.1. Belver de los Montes

Abordamos la primera medida en Belver de los Montes, aprovechando que un amigo tiene ahí su observatorio y hemos tenido fantásticas noches de observación, para medir la calidad su cielo.

La medida fue tomada justo en el margen del pueblo con la intención de analizar cómo las luces de la iglesia y de las pocas farolas encendidas afectan considerablemente a la medición. El pueblo se sitúa justo entre el norte y el este de la medida, donde podemos observar que la iluminación está mal direccionada, hacia el cielo, de la iglesia y de las luminarias.

Localización	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Fecha y Hora	Localidades cercanas [km]	Dirección	Fuentes de luz y orientación	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]	Seeing
Belver de los Montes	+41:43:16.9	-05:27:12.15	735	28-05-2022 01:40	Belver de los Montes Zamora 34 Valladolid 60	NW-NE SW E	Iluminación urbana y monumental NW-NE Valladolid E	15	27	5-5

**Cuadro 7:** Resumen de los datos de las afueras de Belver de los Montes.



(a)



(b)

**Figura 12:** a) Mapa de brillo. b) Fotografía desde las afueras de Belver de los Montes donde podemos ver la mala iluminación monumental de la iglesia y de las farolas. Se puede distinguir la constelación de Casiopea. Foto tomada con Samsung S22+ 8s de exposición a ISO 1600.

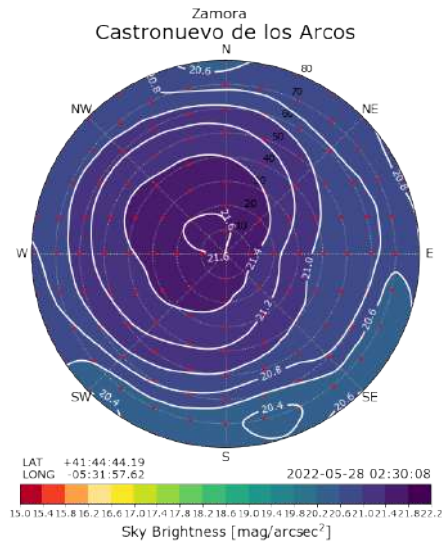
### 3.3.2. Castronuevo de los Arcos

A pocos kilómetros, en el término municipal de Castronuevo de los Arcos, hice una medida en una zona de monte para evitar las luces de los pueblos aledaños. Podemos ver que la “peor” magnitud registrada es de  $20.4 \text{ mag/arcsec}^2$ , que se corresponde con la iluminación nocturna de Castronuevo de los Arcos a escasos 3 km. Un zenit con un brillo de  $21.6 \text{ mag/arcsec}^2$  que decae poco a poco hasta cerca del horizonte en algunos puntos sin bajar de los  $21.0 \text{ mag/arcsec}^2$ .

Localización	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Fecha y Hora	Localidades cercanas [km]	Dirección	Fuentes de luz y orientación	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]	Seeing
Castronuevo de los Arcos	+41:44:44.19	-05:31:57.62	738	28-05-2022 02:30	Castronuevo de los Arcos 3 Zamora 32 Valladolid 65	S-SW SW E	Castronuevo S-SW Zamora SW	12	26	5-4

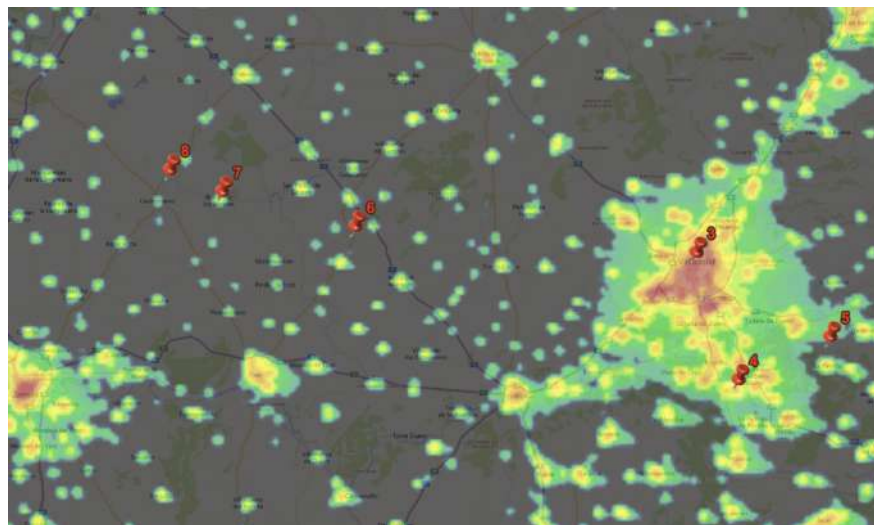
**Cuadro 8:** Resumen de los datos de Castronuevo de los Arcos.





(a)

**Figura 13:** a) Mapa de los alrededores de Castronuevo de los Arcos. b) Fotografía hecha con el Samsung S22+ de 30s de exposición y a ISO 800.



**Figura 14:** Medida 7) Belver de los Montes. Medida 8) Castronuevo de los Arcos.

### 3.3.3. La Laguna de los Peces

Una vez dejada atrás la llana Tierra de Campos pasamos ahora a la comarca de Sanabria, en concreto a una de las zonas más altas y alejadas de la contaminación lumínica de la zona.

La Laguna de los Peces es una laguna de montaña de origen glaciar a una altura de 1707 m. Se puede llegar en coche y ofrece excelentes vistas naturales tanto de día como conforme cae la noche.

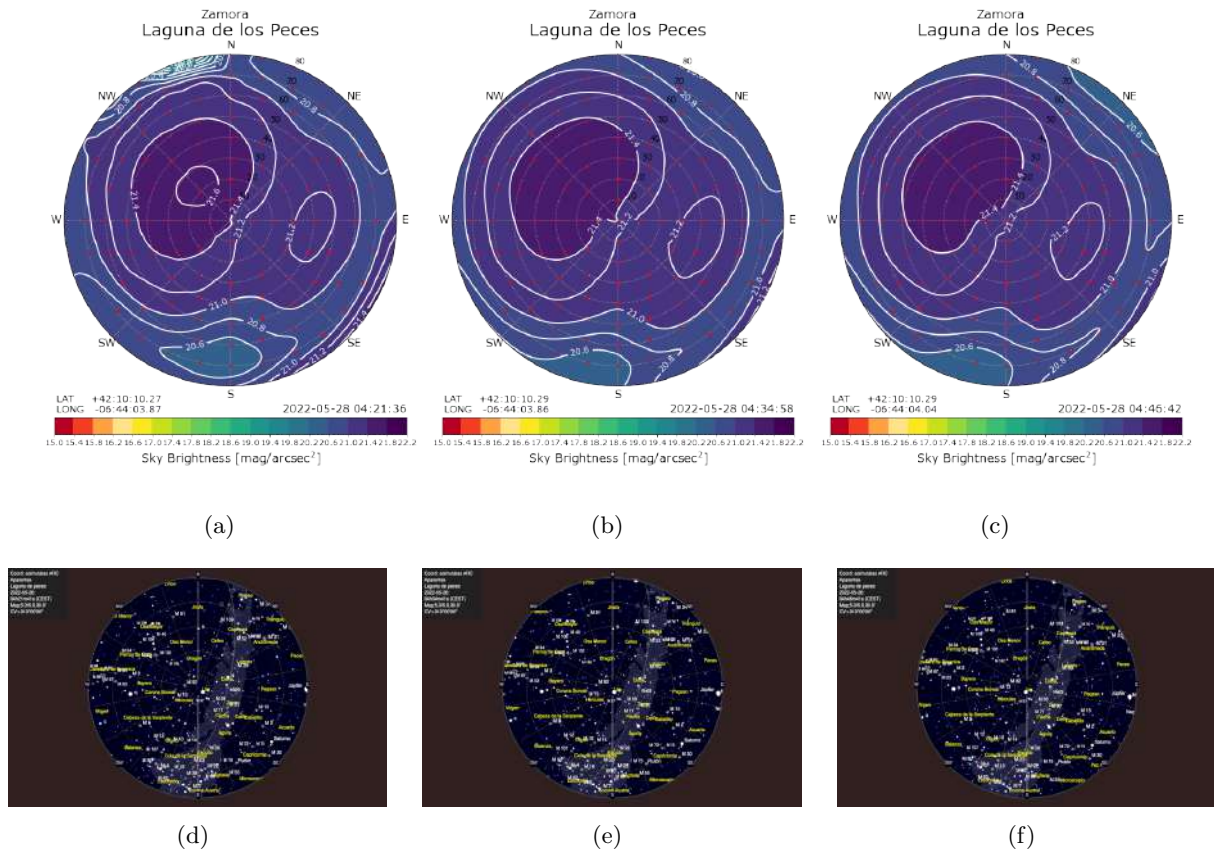
Durante el proceso de medida que se llevó a cabo en la Laguna de los Peces me di cuenta de algo que no me había imaginado posible. En la consecución de medidas que tomé se puede ver algo

muy interesante: cerca del zenit, en la primera medida, hay una isofota a  $21.2 \text{ mag/arcsec}^2$  que, conforme avanza el tiempo, en las siguientes medidas, va “empujando” hacia el NW esa zona de  $21.4 \text{ mag/arcsec}^2$  en su camino hacia el zenit. Pues bien, esa isofota más clara se trata precisamente de la Vía Láctea. La calidad del cielo es tan buena que se puede apreciar el brillo de nuestra galaxia y el movimiento aparente de la misma a lo largo de las medidas.

En la figura 15 se han añadido unas cartas astronómicas coincidentes con las medidas para poder apreciar la posición de la Vía Láctea (está representado el ecuador galáctico para facilitar su localización).

Localización	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Fecha y Hora	Localidades cercanas [km]	Dirección	Fuentes de luz y orientación	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]	Seeing
Laguna de los Peces	+42:10:27	-06:44:03.87	1788	28-05-2022 04:34	Puebla de Sanabria 16 Ponferrada 44 Braganza 46	SE N-NE S		7	33	4-3

**Cuadro 9:** Resumen de los datos de la Laguna de los Peces.



**Figura 15:** Mapas de brillo con sus correspondiente cartas astronómicas para ver el desplazamiento de la Vía Láctea entre las medidas.



**Figura 16:** Apilado de 60 fotos de 4 segundos a 3600 ISO sin autoguiado, con cámara fotográfica Canon EOS 80D y objetivo 50mm. Apilado y procesado con *SiriL*. Laguna de los Peces.

### 3.3.4. Pedralba de la Pradería

Para finalizar, voy a presentar una medida cuyo valor científico es anecdótico, pero que sirve para poner en contexto todo lo se ha discutido desde el principio del trabajo.

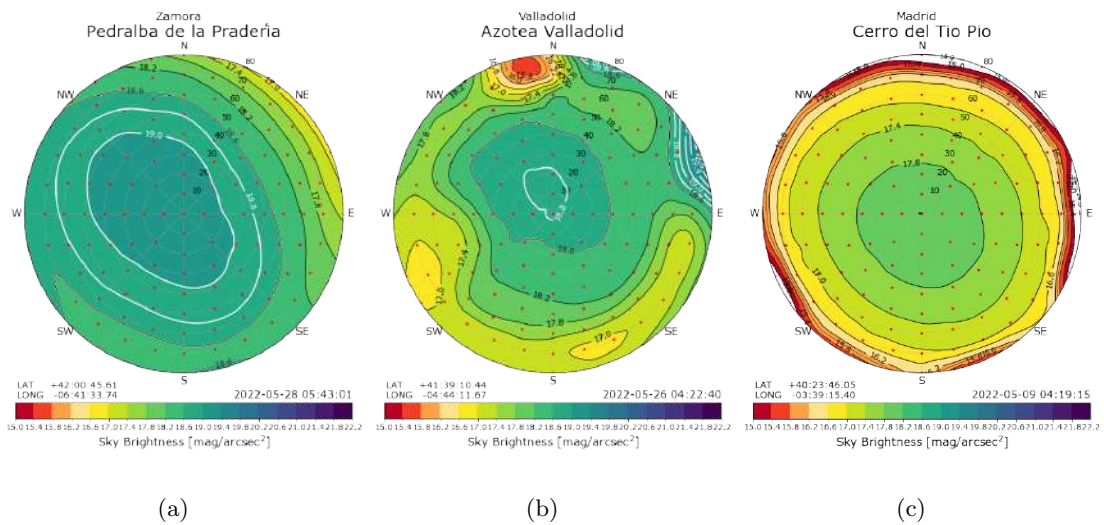
Como última medida me desplazé hasta mi pueblo, Pedralba de la Pradería, para tomar una medida aunque el cielo ya no estuviera oscuro completamente.

Localización	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Fecha y Hora	Localidades cercanas [km]	Dirección	Fuentes de luz y orientación	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]	Seeing
Pedralba de la Pradería	+42:00:45.61	-06:41:33.74	1155	28-05-2022 05:43	Puebla de Sanabria 7 Braganza 23	NE S	Puebla de Sanabria NE Braganza S	10	37	5-3

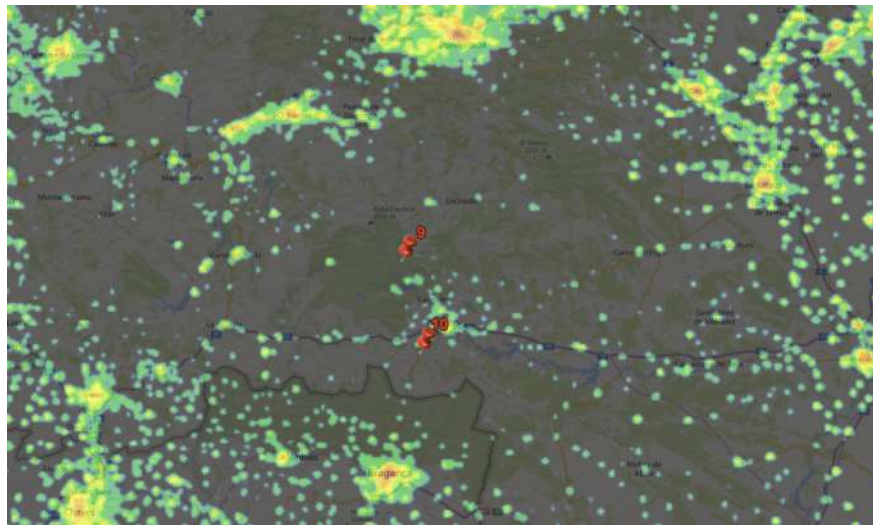
**Cuadro 10:** Resumen de los datos de Pedralba de la Pradería.

La medida está tomada a las 05:43 y ya no era noche cerrada, pero nos sirve para comparar con los cielos contaminados de ciudades como Madrid y Valladolid. Como podemos observar comparando las medidas de la figura 17, incluso un cielo sin contaminación lumínica a una hora de amanecer es más oscuro que un cielo de ciudad en plena noche cerrada.





**Figura 17:** a) Pedralba de la Pradería, b) Valladolid, c) Madrid. Hay una diferencia de más de una magnitud. En la medida de Pedralba la Luna empezaba a emerger por la zona del NE de ahí esos valores más claros.



**Figura 18:** Medida 9) Laguna de los Peces. Medida 10) Pedralba de la Pradería.

#### 4. Conclusiones y futuras aportaciones

Después del ejemplo acuciante del cambio climático y las decisiones poco tajantes que han tomado los gobiernos para aplacar los efectos del mismo, no podemos sino concluir que la contaminación lumínica y sus consecuencias van a ser objeto de aún más desinterés por parte de la comunidad científica, que aún consideran esta problemática un capricho de los astrofísicos y astrónomos.

Por tanto, el trabajo futuro consistirá en concienciar a la población de las graves consecuencias ecológicas, de salud y medioambientales. Ayudar, desde las asociaciones de astrónomos y universidades, a los ayuntamientos para elaborar planes municipales de iluminación urbana más eficientes, para, a su vez, promover el turismo StarLight y fomentar que la población general se acerque a conocer lo que puede ofrecer una noche estrellada.

Sería interesante poder seguir realizando medidas estáticas y rutas en coche para aumentar el mapeado de diferentes zonas de España durante este verano y el año que viene y enfocarme así en la realización de un Trabajo Fin de Máster donde investigar más en profundidad la contaminación lumínica.

Este, por tanto, es un trabajo de todos y que interesa a todos; porque, después de todo, entre la contaminación lumínica y los enjambres de satélites enviados al espacio, nos quedamos sin poder alcanzar a mirar más allá.

## Bibliografía

1. Arrhenius, S. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* **41**, 237-276. ISSN: 1941-5982 (251 1896).
2. StarLight. *Conferencia Internacional en Defensa de la Calidad del Cielo Nocturno y el Derecho a Observar las Estrellas* en (2007). [https://fundacionstarlight.org/docs/files/77\\_declaracion-sobre-la-defensa-del-cielo-nocturno-y-el-derecho-a-la-luz-de-las-estrellas.pdf](https://fundacionstarlight.org/docs/files/77_declaracion-sobre-la-defensa-del-cielo-nocturno-y-el-derecho-a-la-luz-de-las-estrellas.pdf).
3. De Miguel, A. S., Zamorano, J., Gómez, J. y Pascual, S. Evolution of the energy consumed by street lighting in Spain estimated with DMSP-OLS data. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* **139**, 109-117 (2014).
4. Zamorano, J., de Miguel, A. S., Delgado, D. M. y Navarro, E. A. PROYECTO NIXNOX Disfrutando de los cielos estrellados de España. *Ene* **12**, 5 (2014).
5. Zamorano, J., de Miguel, A. S., Rosillo, M. N. y Ayuga, C. T. NixNox procedure to build Night Sky Brightness maps from SQM photometers observations (2014).
6. Zamorano, J. *y col.* Night Sky Brightness and Light Pollution in Comunidad de Madrid. **9**, 17 (2014).
7. Falchi, F. *y col.* The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science advances* **2**, e1600377 (6 2016).
8. Leirado, B. S. *NixNox: Automatización y base de datos* (Universidad Complutense de Madrid, 2020).
9. UNESCO. *Draft Declaration on the Safeguarding of Future Generations* <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000106455>.