

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA DE LA TIERRA Y ASTROFÍSICA



TRABAJO DE FIN DE GRADO

Código TFG: FTA18

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

Light pollution analysis by using sky brightness measurements.

Supervisor: Prof. Dr. D. Jaime Zamorano Calvo

Mario García-Minguillán Gómez

**Grado en Física
Curso académico 2020-21
Convocatoria junio**

Índice

1. Resumen	2
2. Introducción.....	3
2.1. Los derechos medioambientales, el derecho a un cielo nocturno no contaminado.	3
2.2. La contaminación lumínica, sus efectos y las soluciones frente a la misma.	4
3. Metodología:	4
4. Mediciones	7
4.1. Condiciones de la medición	7
4.2. Áreas de las mediciones realizadas	7
4.3. Ruta 1	8
4.4. Ruta 2	9
4.5. Ruta 3	10
4.6. Ruta 4	11
4.6.1. Mediciones en movimiento Ciudad Real – Puertollano.	11
4.6.2. Mediciones estáticas all-sky ruta Ciudad Real - Puertollano	13
4.7. Ruta 5	17
5. Conclusiones	18
6. Bibliografía.....	20

1. Resumen

El presente trabajo presenta unas observaciones del brillo del cielo realizadas con fotómetro TESS TAS que sirven para realizar un análisis de contaminación lumínica del cielo.

Las medidas del brillo del cielo, constituyen pruebas empíricas que nos permiten constatar la realidad de la contaminación lumínica que estamos produciendo, nos sirve para mostrar resultados, realizar estadísticas y mostrar la evolución del problema, y todo ello puede servir para incentivar a la sociedad en su conjunto a tomar conciencia del problema y que pueda plantearse la búsqueda de soluciones para recuperar un cielo estrellado.

Abstract:

The present project introduces some observations of the sky brightness made with a TESS TAS photometer which are used to perform an analysis of light pollution of the sky.

The sky brightness measurements involve empirical tests that allow us to check the reality of the light pollution that we are producing. They helps us to show results, carry out statistics and display the evolution of this problem. They can also be useful to encourage the whole society to become aware of this issue and to be able to consider the searching for solutions in order to recover a starry sky.

2. Introducción.

2.1. Los derechos medioambientales, el derecho a un cielo nocturno no contaminado.

La degradación del medio ambiente se acelera de forma exponencial a partir del siglo XIX con la revolución industrial y es a mediados del siglo XX cuando se empieza a tomar conciencia de que la destrucción del medio natural es una gran amenaza para la supervivencia del ser humano. Las Constituciones más avanzadas surgidas tras la segunda guerra mundial, comienzan a incorporar en sus textos como Derecho Fundamental de tercera generación el derecho a un medio ambiente adecuado.

La Constitución Española de 1978 en su artículo 45 establece que “1. *Todos tienen el derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo.* 2. *Los poderes públicos velarán por la utilización racional de todos los recursos naturales, con el fin de proteger la calidad de la vida y restaurar el medio ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva.* Si bien no se incorpora este derecho al grupo de derechos de máxima protección, si es cierto que se establece como derecho y obligación de todos, la conservación del medio y la obligación de los poderes públicos de velar y restaurar el mismo.

Por otra parte, al establecerse en la propia Constitución un sistema competencial descentralizado, además de la Administración Central del Estado, las Comunidades Autónomas tienen competencias en materia de medio ambiente y específicamente en materia de contaminación lumínica son los Ayuntamientos los responsables de tomar medidas al otorgarles la Ley de Bases de Régimen Local competencias sobre medio ambiente y alumbrado público. Por ello debe exigirse a la administración en todos sus niveles, legislación adecuada y comprometida con la protección del medio ambiente y con la protección del cielo estrellado¹.

En la Conferencia Internacional en Defensa de la Calidad del Cielo Nocturno y el Derecho a Observar las Estrellas celebrada en la isla de La Palma en el año 2007, impulsada por el Instituto Astrofísico de Canarias, en la que participaron diversas organizaciones internacionales como la UNESCO, la OMT o la IAU entre otras, se aprobó la Declaración sobre Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a la Luz de las Estrellas (Declaración de la Palma)². En la Declaración se afirmó que: “*El derecho a un cielo nocturno no contaminado que permita disfrutar de la contemplación del firmamento debe considerarse como un derecho inalienable de la Humanidad, equiparable al resto de los derechos ambientales, sociales y culturales. La progresiva degradación del cielo nocturno ha de ser considerada como un riesgo inminente que conlleva la pérdida de un recurso fundamental*”.

¹ C.E. 1978 arts. 45 y 149. Ley 7/1985, de 2 de Abril, reguladora de las bases de régimen local, arts. 25 y 26

² <https://www.fundacionstarlight.org>

2.2.La contaminación lumínica, sus efectos y las soluciones frente a la misma.

El proyecto de la Unión Europea Action³, proyecto de ciencia ciudadana en el que participan la U.C.M. y la U.P.M. y en el que además de investigadores de diversas áreas está abierto a la participación de ciudadanos, grupos comunitarios, empresas sociales y activistas de datos abiertos, tiene como finalidad la lucha contra las principales formas de contaminación.

El proyecto stars4all⁴ y como parte integrante de este el proyecto Nix Nox⁵ en el marco de Action, tienen por objeto el análisis, estudio y medición de la contaminación lumínica, así como, concienciar a la opinión pública sobre los efectos negativos del mal uso de la luz artificial, la contaminación lumínica que provoca y como este tipo de contaminación afecta negativamente a la visibilidad del cielo nocturno y las estrellas, generando además efectos negativos sobre la biodiversidad, alteraciones en los ciclos biológicos de los animales, plantas y el propio ser humano, acumulación de residuos contaminantes, pérdida de energía, deslumbramientos que provocan problemas del tráfico rodado, aéreo y marítimo.

La contaminación lumínica tiene como causa principal y directa el alumbrado público de las ciudades, aumenta con la industrialización, el éxodo rural y el crecimiento de las ciudades. Si a ello añadimos que la iluminación de las ciudades resulta en muchos casos mal gestionada por los excesos de la misma, fuentes lumínicas inadecuadas y mal posicionadas el resultado en muchos casos es catastrófico.

Una inadecuada iluminación nocturna provoca un gasto energético excesivo, al estar generando una iluminación superior a la necesaria máxime si parte de esa iluminación está dirigida al cielo perdiendo así su auténtico cometido. Este exceso de consumo provoca la consecuente generación de residuos contaminantes dependiendo de la fuente energética utilizada.

Como repite constante el profesor Jaime Zamorano⁶, la solución al problema se alcanzará a través de la educación, la concienciación, el activismo, la resistencia, el trabajo a largo plazo y el inconformismo, cifrado este como el objetivo irrenunciable a recuperar el Derecho Inalienable a un cielo nocturno no contaminado. Las medidas para lograr este objetivo pasan por implementar medidas paliativas de recuperación del cielo estrellado, siendo necesario la monitorización a través de las medidas, y la estadística evaluación e interpretación de las mismas.

3. Metodología:

Se realizan mediciones en movimiento, instalando el fotómetro en el exterior de un automóvil y mediciones estáticas sobre trípode.

³ <https://actionproject.eu>

⁴ <https://stars4all.eu>

⁵ <https://nixnox.stars4all.eu>

⁶ Zamorano, J.: Conferencia. Contaminación lumínica y ciencia ciudadana. Societat Astronómica de Figueres. 19/03/2021

Las mediciones realizadas se han obtenido con un fotómetro TESS (Telescope Encoder And Sky Sensor) modelo TAS⁷ que surge como continuación a TESS-V en el marco del proyecto europeo STARS4ALL con la colaboración de la UCM y la UPM. (Fig. 1). Se trata de un fotómetro motorizado, con óptica TESS-W. El fotómetro se compone de dos partes: Un cuerpo principal que contiene la electrónica, la batería y los dos motores, bloque que gira 360° horizontalmente y un bloque de sensores (sensor de brillo y de temperatura IR) que se mueve verticalmente.



Figura 1: Vistas del Fotómetro TASS empleado en este trabajo. Imagen frontal (izquierda) y cenital (dcha.). En esta última se aprecian la ventana del fotómetro y el sensor IR con un tamaño de 10 cm. de alto, 7 cm. de ancho y 5 cm. de grosor.

Los datos obtenidos por el fotómetro son enviados, vía Wifi, a un teléfono móvil utilizando la aplicación TESS-P para Android. (Fig. 2).



Figura 2: Fotómetro TASS junto a un teléfono al que envía los datos.

Los datos son estudiados, posteriormente, con programas de análisis de datos.

La medición, en este caso, se ha realizado en movimiento por lo que el fotómetro se instaló en un automóvil. Para ello se utilizó un sistema de portaequipajes externo, formado por dos barras, marca Cruz

⁷ <http://www.observatorioremoto.com/TAS%20Manual%20Usuario%20v20.pdf>

Optima OS, y cuatro anclajes de acero. A las dos barras de acero se les acopló un listón de madera de pino de pallet, de 20 mm. mediante bridas plásticas. Al listón se le ancló un tornillo de cincado de 8,8 mm. con tuerca hexagonal de seguridad y arandela plástica antiblocante. (Fig. 3)

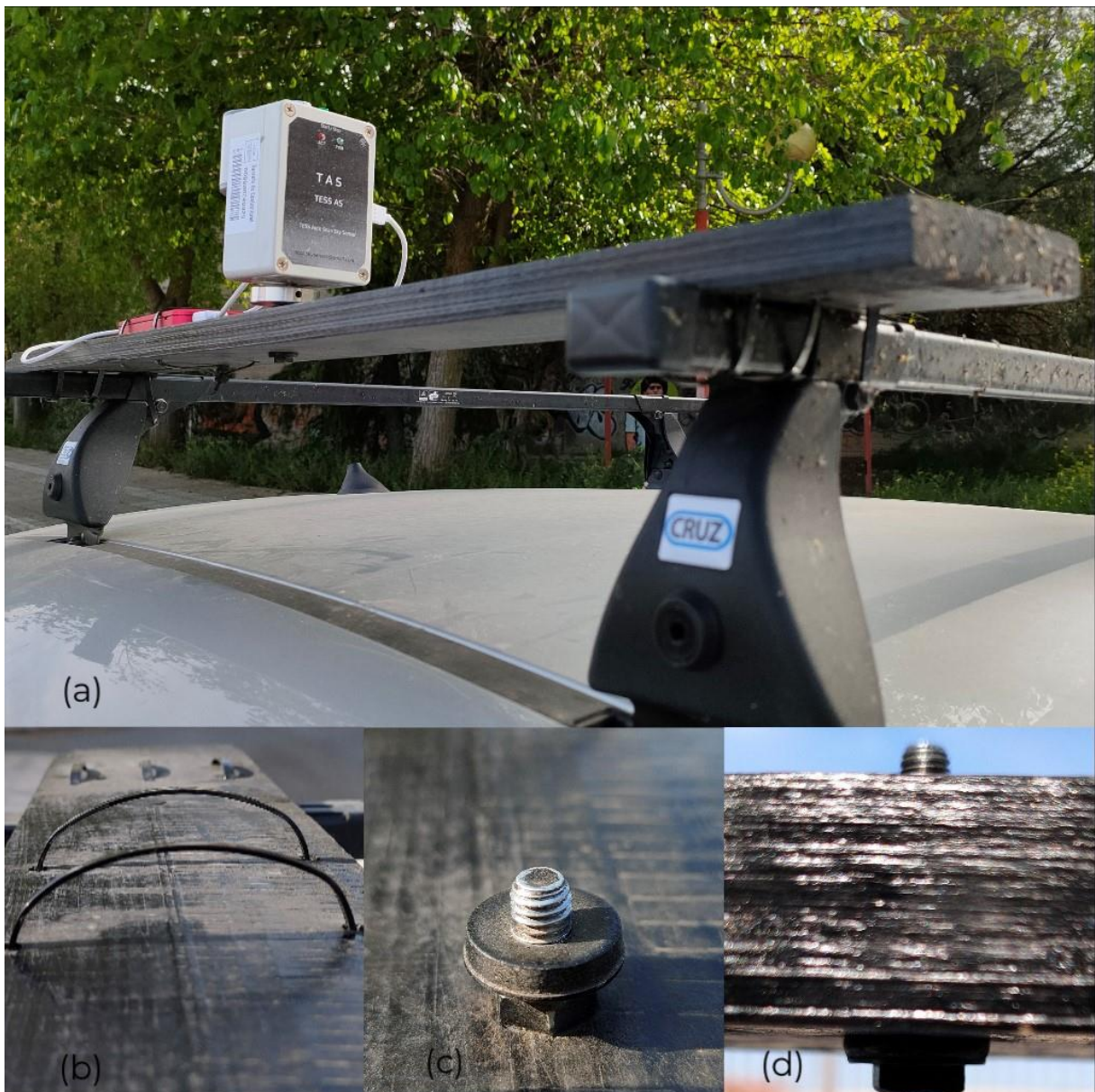


Figura 3: Diferentes vistas del montaje sobre el vehículo: (a) fotómetro anclado a la barra con batería externa, (b) Detalle del listón de madera que sirve de base, (c) y (d) Vistas del tornillo que sujeta el fotómetro

El sistema artesanal de fijación debía cumplir, en todo caso, dos parámetros: la estabilidad y la seguridad. A este respecto en zonas de carreteras bacheadas y viradas se utilizó adicionalmente, para mayor protección del equipo, cinta americana y gomas elásticas anudadas.

Dado que las mediciones se realizaban en períodos prolongados se utilizó, además, una batería externa.

4. Mediciones

4.1. Condiciones de la medición

Si bien para realizar un análisis en profundidad de la contaminación lumínica de una zona deben realizarse mediciones a lo largo de un tiempo prolongado y con diferentes condiciones, en el marco de este trabajo (TFG), se pretende realizar una aproximación a la situación del cielo nocturno de la zona a estudiar y las mediciones con fotómetro se llevan a cabo en noche oscura, sin Luna y despejada de nubes.

En el momento de realizar las mediciones, se añade una dificultad al trabajo, el estado de alarma promulgado por la situación de pandemia, estado excepcional que lleva aparejado un toque de queda nocturno (desde las 23:00 -24:00 h. a las 07:00 h.) con limitaciones parciales de movilidad y cierres perimetrales de términos municipales.

4.2. Áreas de las mediciones realizadas

Las mediciones que se presentan en este trabajo se refieren a la provincia de Ciudad Real. La elección de la zona de medición fue elegida de acuerdo con el tutor del trabajo, toda vez que el lugar de residencia del autor es Ciudad Real capital. La elección de la zona nos permite estudiar un área muy amplia con diversos puntos y parámetros optándose, finalmente, por realizar mediciones en movimiento.

La provincia de Ciudad Real perteneciente a la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, cuenta con una superficie de 19.813 km² la tercera provincia más extensa de España, situada en la mitad meridional de la meseta central, con una altitud media de 727 msnm. Limitada al norte por los Montes de Toledo, al sur por Sierra Morena, encontrándose la zona central atravesada por el río Guadiana en la que se extiende la llanura manchega.

La población de la provincia, en el año 2020, alcanzaba los 495.045 habitantes, contando con 102 municipios.

España, en el contexto europeo, es un país poco poblado y las provincias del interior, a excepción de Madrid y sus zonas de influencia, se situarían entre las menos pobladas de Europa.

En el marco nacional se incluyen en la denominación de “España despoblada” a veintitrés provincias que cumplirían dos criterios: Haber perdido población entre 1950 y 2019 y tener una densidad de población por debajo de la media nacional en el último año, excluyendo en ambos casos las capitales de provincia y las ciudades de más de 50.000 habitantes⁸. La provincia Ciudad Real cumple ambos criterios.

⁸ Bandrés, E. y Azón, V. (2021). *La despoblación de la España interior*. Madrid: Funcas.

En el informe 2020 del Estudio de la despoblación y el despoblamiento en la provincia de Ciudad Real de la UCLM⁹ se afirma que “En general, podemos considerar la provincia de Ciudad Real, como un territorio de débil poblamiento y eminentemente rural. Con tan sólo 25,02 hab./Km² en 2019, se encuentra por debajo de todos los promedios de densidad poblacional de las Comunidades Autónomas españolas. Además, el 56% de la superficie tiene menos de 10 Hab./Km² y el 64 % de los municipios están por debajo de los 2.000 habitantes. Las mayores concentraciones de población se sitúan en la parte central y nororiental de la provincia, mientras que amplias áreas occidentales, meridionales y surorientales cuentan con densidades de población que no superan los 8 hab./Km², que es el indicador de referencia de la Unión Europea para designar áreas de muy baja densidad de población.”

Las mediciones se han realizado en rutas por las diversas zonas del área a estudiar, recorriendo la provincia en sus cuatro puntos cardinales, recogiendo datos de diversas comarcas y zonas de influencia de distintas poblaciones, con distinta densidad de población y distinta actividad económica. En concreto, se incluye la zona de influencia de las cinco localidades más pobladas: Conurbación de Ciudad Real/Miguelturra (91.002 hab.), Puertollano (46.607 hab.), Tomelloso (36.168 hab.), Alcázar de San Juan (30.766 hab.) y Valdepeñas (30.252 hab.), es decir, con un total de 234.795 habitantes, estas poblaciones suponen el 47,43% de la población total de la provincia (495.045 hab.).

Por otra parte las rutas utilizadas han alcanzado, también, a zonas escasamente pobladas y de actividad, principalmente, agrícola y ganadera. Poblaciones como Picón (668 hab.), Saceruela (564 hab.), Cabezarados (312 hab.), entre otras.¹⁰

4.3.Ruta 1

FECHA	INICIO	FINAL
10 de marzo de 2021	22h16m11s	23h11m07s
CONDICIONES	Noche despejada con una luminosidad de la Luna de 12,3% (26,2 edad Luna)	
RECORRIDO	63,7 Km. en forma circular, con inicio y final en Ciudad Real.	
DESCRIPCIÓN	Se mide en las proximidades de Ciudad Real capital en su zona Norte con un primer tramo de 24,7 Km. por la N-401 hasta Malagón pasando previamente por Fernán Caballero, en Malagón tomamos la carretera CR-P-2121 durante 21,6 Km. dirección Torralba de Calatrava y en esta localidad enlazamos con la N-420 dirección Ciudad Real carretera que seguimos durante 17,4 Km. hasta Ciudad Real, pasando Carrión de Calatrava.	
RESULTADOS	Media: 20,6 mag/arcsec ² Mediana: 20,7 mag/arcsec ² Máxima oscuridad: 21 mag/arcsec ² . Los puntos de máximo brillo del cielo se localizan a la salida y entrada de Ciudad Real, con mediciones de 19,46 y 19,60 mag/arcsec ² . El punto mínimo brillo conseguido es de 20,98 mag/arcsec ² a las 22h 42' 17" en la zona más alejada de Ciudad Real entre las localidades de Malagón y Torralba en las inmediaciones de un puente sobre el río Guadiana, 39° 0,6' 14,10" Los resultados se pueden observar en el siguiente mapa de brillo (Fig. 5)	

⁹ Ruiz Pulpón, A.R. y Ruiz Gonzalez, F. (2020) Estudio de la despoblación y el despoblamiento en la provincia de Ciudad Real. Informe D2CR 2020 (d2cr.uclm.es). Universidad de Castilla-La Mancha.

¹⁰ Cifras oficiales de población a 1 de enero de 2021 facilitadas por el I.N.E. (ine.es)

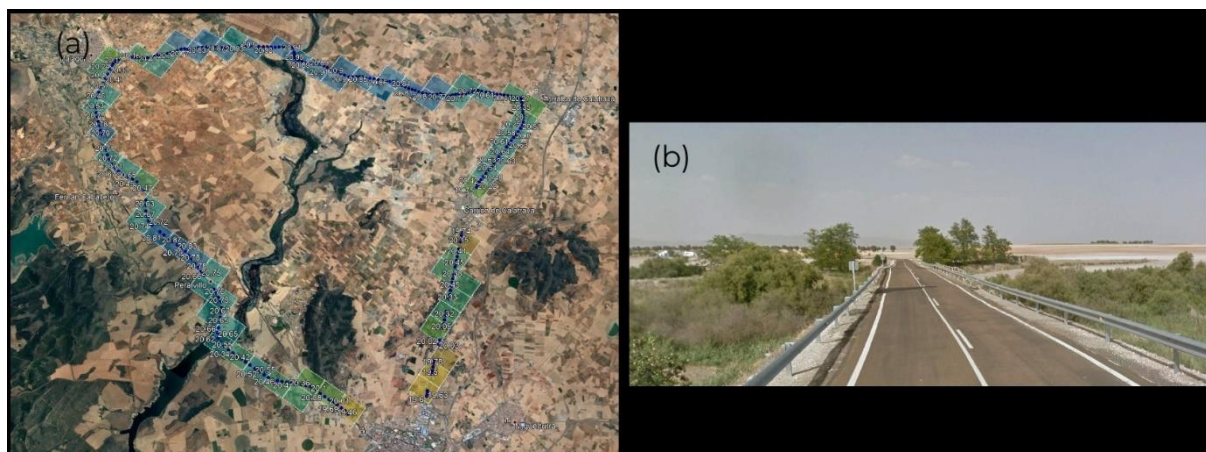


Figura 5: (a) mapa de brillo ruta 1, 10 de marzo de 2021. (b) Punto mínimo brillo ruta 1

4.4.Ruta 2

FECHA	INICIO	FINAL
12 de marzo de 2021	21h18m13s	23h05m12s
CONDICIONES	Noche despejada con una luminosidad de la Luna del 2,2%, (28,1 edad de la Luna)	
RECORRIDO	Ruta de 124 Km. con inicio en la localidad de Piedrabuena y final en Ciudad Real	
DESCRIPCIÓN	<p>Ruta dirigida a medir la zona Oeste de la provincia, parte de la denominada comarca de Almadén, pasando por alguna de las zonas menos pobladas de la provincia. Tanto la morfología de la zona como su población resulta similar a la de los Montes de Toledo, con grandes extensiones de monte y localidades distanciadas entre sí, dedicadas principalmente a la Ganadería lanar y a la agricultura, al encontrarse clausurada la explotación minera del Mercurio de la mina de Almadén por la toxicidad del mineral, pese a que la mina es la mayor del mundo en potencial de extracción de cinabrio. Iniciamos el viaje en Piedrabuena por la N 430 en dirección a Luciana que se encuentra a 12,8 Km. siguiendo la misma carretera por una zona montañosa y virada hasta el Puente de Retama donde enlazamos con la carretera CM 415 hasta la localidad de Saceruela a la que se llega tras 36,7 Km. volvemos de cambiar de carretera tomando ahora la CM 4110 llegando a Abenójar después de recorrer 24,4 Km. continuando 6,5 Km. más hasta Cabezarados donde enlazamos con la carretera CM 4112 durante 20,3 Km. hasta Corral de Calatrava. Siendo esta carretera y enlazando con la N 420 llegamos a Poblete a los 20,3 Km. y tras 10 Km. más finalizamos en Ciudad Real.</p>	
RESULTADOS	<p>Media: 21.0 mag/arcsec²; Mediana: 21.mag/arcsec²; Máxima oscuridad: 21,27 mag/arcsec². En gran parte del viaje se consiguen mediciones superiores a 20 mag/arcsec². en incluso se consiguen mediciones constantes superiores a 21 mag/arcsec². El punto mínimo brillo conseguido es de 21,27 mag/arcsec² a las 22h 08' 23" entre las localidades de Saceruela y Abenójar 38° 55' 06,78" N, 4° 29' 13,69" W. a 693 MSNM. Los resultados se pueden observar en el siguiente mapa de brillo (Fig. 6)</p>	



Figura 6: (a) mapa de brillo ruta 2, 12 de marzo de 2021. (b) Punto mínimo brillo ruta 2

4.5.Ruta 3

FECHA	INICIO	FINAL
14 de marzo de 2021	20h28m49s	23h09m47s
CONDICIONES	Noche despejada con una luminosidad de la Luna del 0,3%, (0,5 edad de la Luna)	
RECORRIDO	Ruta de 205,10 Km. con inicio en la localidad de Herencia y final en Ciudad Real, midiendo, la comarca de la llanura Manchega de Noreste a Sureste pasando por las poblaciones más pobladas de la provincia a excepción de Puertollano que se mide en otra ruta	
DESCRIPCIÓN	Iniciamos el viaje con un primer tramo de 13,3 Km. por la CM-3165 desde Herencia hasta Alcázar de San Juan donde enlazamos con la CM 42 durante 32,7 Km hasta Tomelloso pasando previamente Alameda de Cervera a 16,6 Km. En Tomelloso tomamos la autovía A-43 durante 41,5 Km. hasta Manzanares pasando previamente a los 9,3 Km. por Argamasilla de Alba. En Manzanares tomamos la autovía A-4 dirección Sur hasta Valdepeñas a 37,5 Km., continuamos por la misma autovía 20,4 Km. más hasta Santa Cruz de Mudela abandonando la autovía 15,2 Km. más tarde en Almuradiel. En esta localidad tomamos la carretera CM 4111 llegando a Viso del Marques a 6,2 Km., continuando viaje 29,1 Km. hasta Calzada de Calatrava y otros 8,4 Km. más hasta Aldea del Rey llegando finalmente a Ciudad Real tras circular otros 33 Km. por la misma carretera.	
RESULTADOS	Media: 20,44946 mag/arcsec ² ; Mediana: 20,53mag/arcsec ² , Máxima oscuridad: 21,15 mag/arcsec ² . Los puntos de máximo brillo del cielo se localizan en las inmediaciones de las localidades más pobladas del recorrido, Herencia, Alcázar de San Juan, Tomelloso, Manzanares Valdepeñas y Ciudad Real, con mediciones inferiores siempre a 19,50 mag/arcsec ² . El punto mínimo brillo conseguido es de 21,15 mag/arcsec ² a las 22h 42' 17" en las inmediaciones del embalse de Cervera a unos diez Km. de Viso del Marqués, dirección Calzada de Calatrava 38° 36' 14,10" N, 3° 40' 35,20" W. a 673 MSNM. Los resultados se pueden observar en el siguiente mapa de brillo (Fig. 7)	

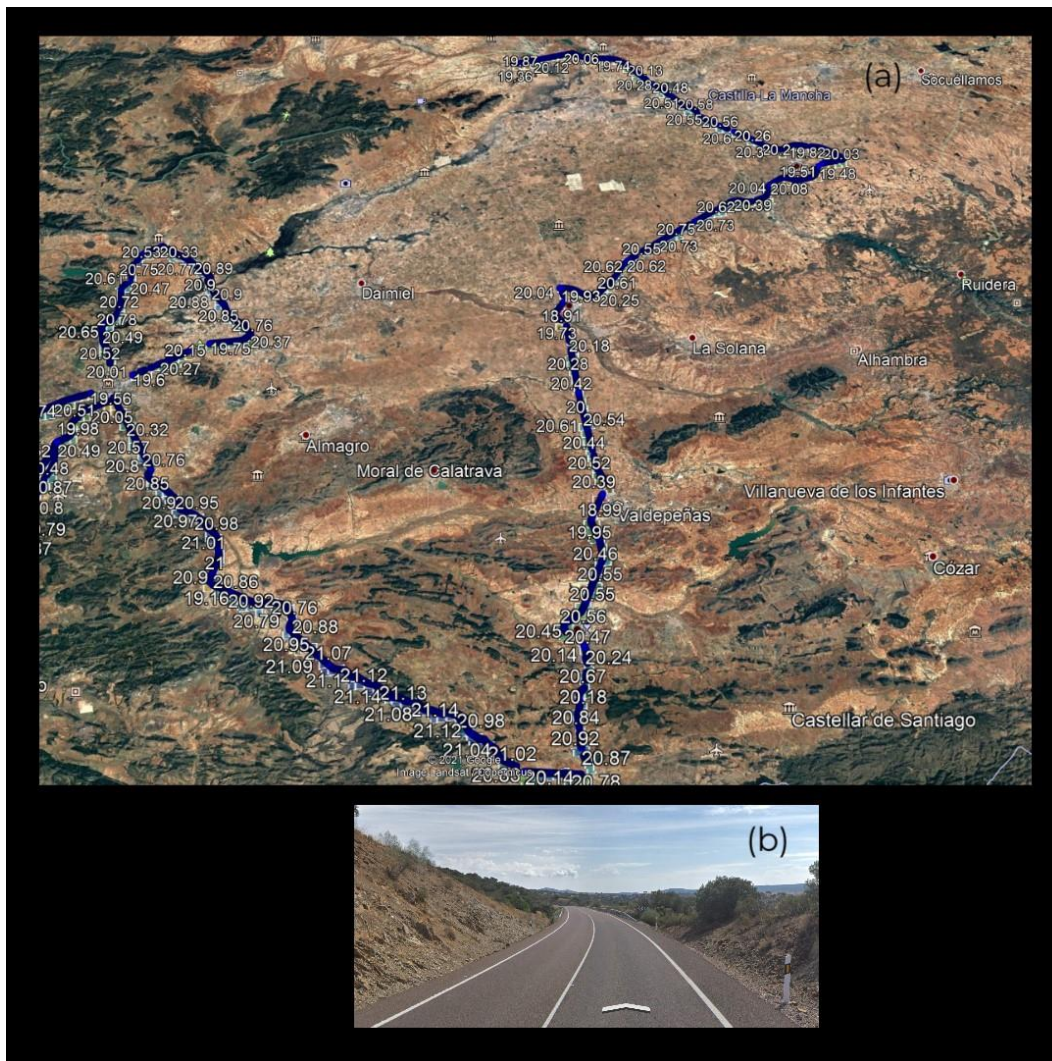


Figura 7: (a) mapa de brillo ruta 3, 14 de marzo de 2021. (b) Punto mínimo brillo ruta 3

4.6. Ruta 4

4.6.1. Mediciones en movimiento Ciudad Real – Puertollano.

FECHA	INICIO	FINAL
15 de marzo de 2021	21h54m52s	23h10m05s
CONDICIONES	Noche despejada con una luminosidad de la Luna del 2,3%, (1,4 edad de La Luna)	
RECORRIDO	Ruta de 99,6 Km. entre las localidades de Ciudad Real, capital de provincia y núcleo más poblado dedicada principalmente al sector servicios al administrativo y burocrático y Puertollano, localidad más industrial de la provincia.	
DESCRIPCIÓN	Situada al suroeste, Puertollano desde finales del siglo XIX con la explotación del carbón, pasa de ser un pueblo agrícola más de la zona a constituirse en ciudad industrial relacionada con las fuentes de energía. Desde mediados del siglo XX pasa de ser la ciudad del carbón a la ciudad del petróleo con la creación y desarrollo de su refinería y desde finales del siglo XX y primeros años del siglo XXI, Apoyada por programas europeos como Thermie, surge Elcogas, que desarrolla una planta de producción de energía no contaminante mediante la utilización de un sistema de gasificación integrada por ciclo	

	<p>combinado (I.G.C.C.). Junto a esta planta también están surgiendo empresas de producción de energía solar o termo solar y de producción de diversos componentes para este tipo de industrias. La ciudad viene en los últimos años a sufrir diversas crisis poblacionales directamente relacionadas con las crisis económicas.</p> <p>Pese a ser una ciudad pequeña (46.607 habitantes) en 2019 se situaba como la octava ciudad española con mayor contaminación lumínica según el diario El País, citando un trabajo dirigido por el Profesor Sánchez de Miguel (8 abril de 2019). Esta grave situación es generada en gran medida por su refinera petrolífera, demostrándose con ello que además de la población debemos tener presente como agente contaminante de primer orden la iluminación de los centros industriales.</p> <p>El viaje lo iniciamos por autovía y la vuelta se realiza por carreteras convencionales. El primer tramo de 38,5 Km. nos lleva a Argamasilla de Calatrava por la A-41, tras 8,4 Km. llegamos a Puertollano donde tomamos la CM-4110 durante 8,8 Km. Llegando a Almodóvar del Campo. Continuamos por la CM 4115 y tras 10,5 Km. llegamos a Villamayor de Calatrava, 10,5 Km. más adelante alcanzamos Caracuel donde accedemos a la N 420 circulando 12,9 Km. hasta Poblete y 10 Km. mas hasta Ciudad Real.</p>
<p>RESULTADOS</p>	<p>Media: 20,49869 mag/arcsec²: Mediana: 20,69mag/arcsec²; Máxima oscuridad: 21,95 mag/arcsec²</p> <p>Los puntos de máximo brillo del cielo se localizan en las inmediaciones de Puertollano y sus zonas de influencia con medidas inferiores a 20 mag/arcsec². desde su acceso norte por la A 41 desde más de 8 Km. en las proximidades de Argamasilla de Calatrava El punto mínimo brillo conseguido en la ruta es de 20,950 mag/arcsec² a las 22h 55' 33" entre las localidades de Caracuel y Poblete a unos 36 km de Puertollano dirección norte. 38° 52' 13,32" N, 4° 02' 38,97" W. a 630 MSNM. Los resultados se pueden observar en el siguiente mapa de brillo (Fig. 8)</p>

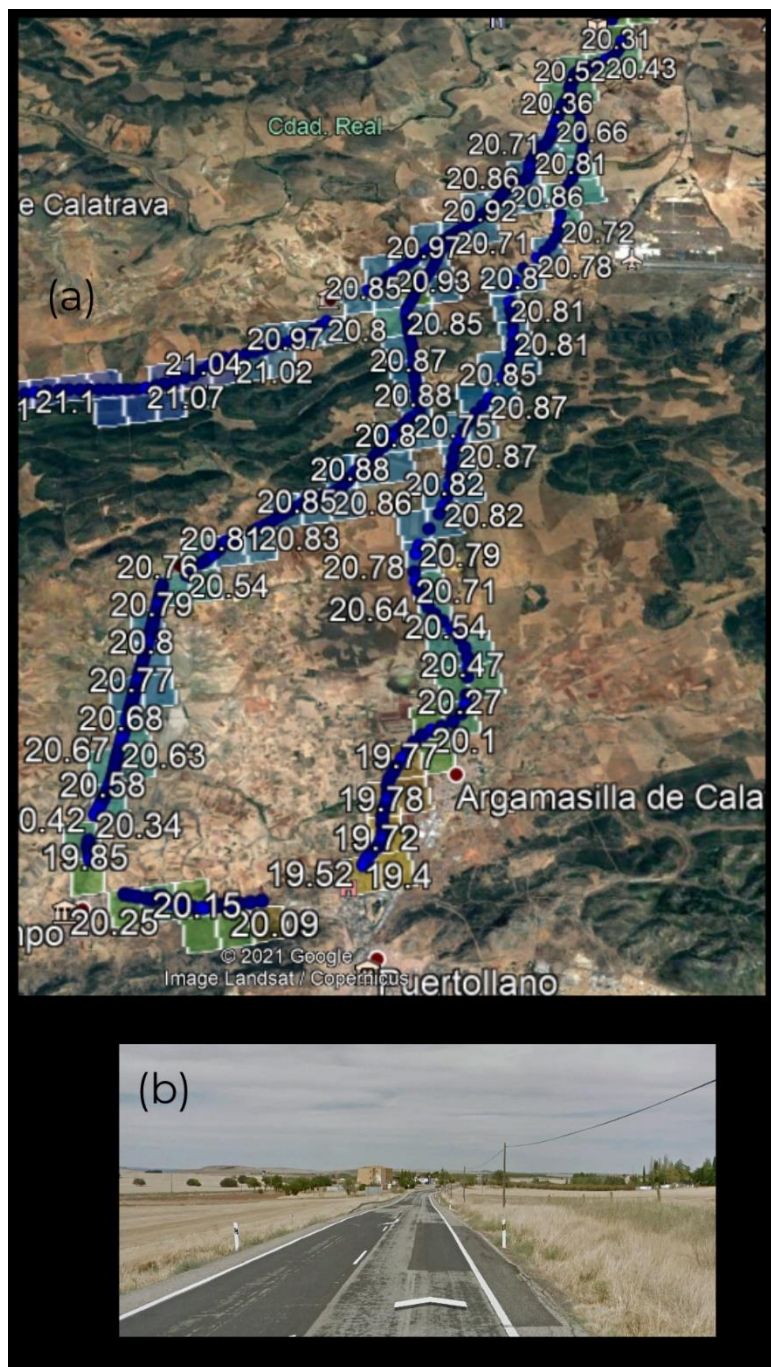


Figura 8: (a) mapa de brillo ruta 4, 15 de marzo de 2021. (b) Punto mínimo brillo ruta 4

4.6.2. Mediciones estáticas all-sky ruta Ciudad Real - Puertollano

Dada la situación de extrema contaminación lumínica de Puertollano, se decide completar la ruta con mediciones estáticas que se realizaron el día 12 de abril de 2021, desde las 22:14'16" hasta las 23:21'15". Los cuatro puntos elegidos fueron: Puertollano, en las inmediaciones de la Central Repsol; Argamasilla de Calatrava, zona de Laguna Blanca; Caracuel – Corral de Calatrava y Poblete. Las condiciones en que se realizaron las mediciones fueron: Cielo sin Luna, pero con intervalos nubosos, estando limitado el espacio temporal por el toque de queda vigente a las 00:00 h. Los resultados quedan reflejados en las siguientes fichas y figuras.

LUGAR	FECHA	HORA
Puertollano	12 de abril de 2021	22h14m16s
RESULTADOS	<p>Las magnitudes de brillo son muy altas con un foco muy importante de contaminación al Oeste 17.4 mag/arcsec² en dirección al complejo petroquímico, extendiéndose la contaminación dirección Norte (población de Puertollano), con magnitud de 17.8 mag/arcsec². El mapa no localiza ningún punto que supere los 19.0 mag/arcsec², alcanzando una luminosidad general entre 17.8 y 18.6 mag/arcsec², con puntos aislados entre 18.6 y 19.4 mag/arcsec².</p> <p>Se miden temperaturas del cielo entre -12° y -8° en gran parte del mapa.</p>	

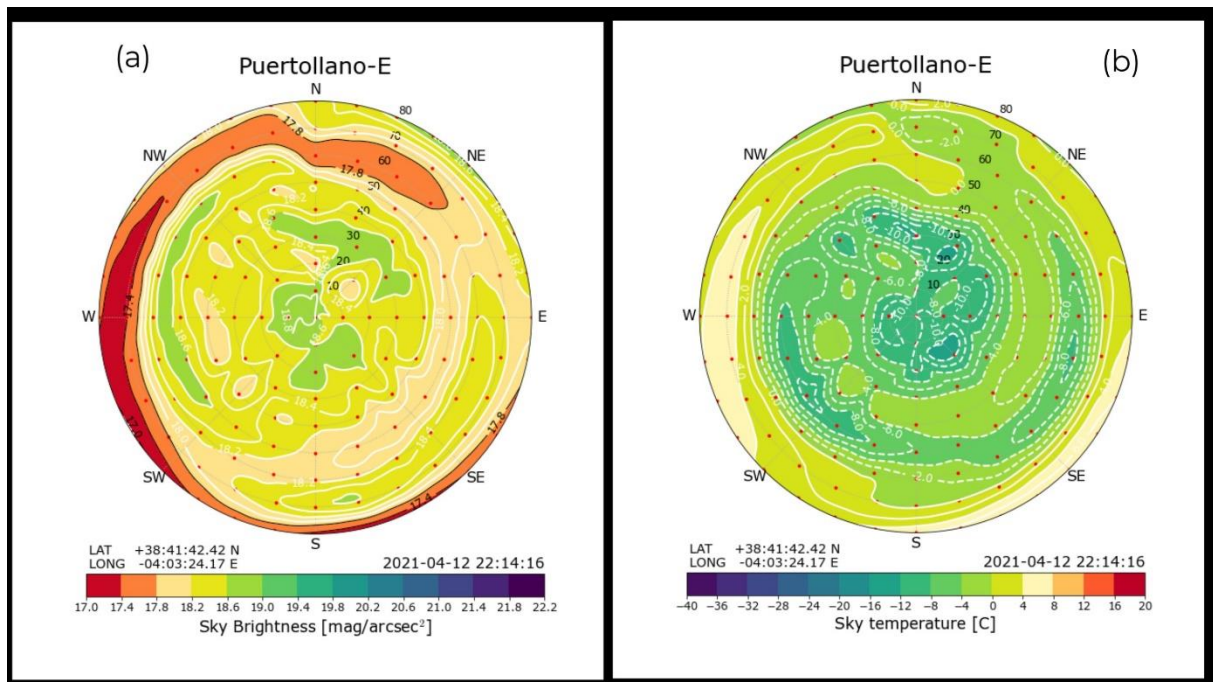


Figura 9: (a) Mapa de brillo del cielo. (b) Mapa de temperatura del cielo, Puertollano, 12/04/2021

LUGAR	FECHA	Hora
Argamasilla de Cva. Laguna Blanca a 10,7 km. de Puertollano y 36,3 km. de Ciudad Real.	12 de abril de 2021	22h33m04s
RESULTADOS	<p>Se detecta un cielo muy contaminado, localizándose dos zonas dirección sur-sureste (Puertollano y Central petroquímica) con magnitudes inferiores incluso a 17.0 mag/arcsec². La medición general nos muestra un cielo de magnitudes entre 17.0 y 18.6 mag/arcsec². La temperatura del cielo es de 4 grados.</p>	

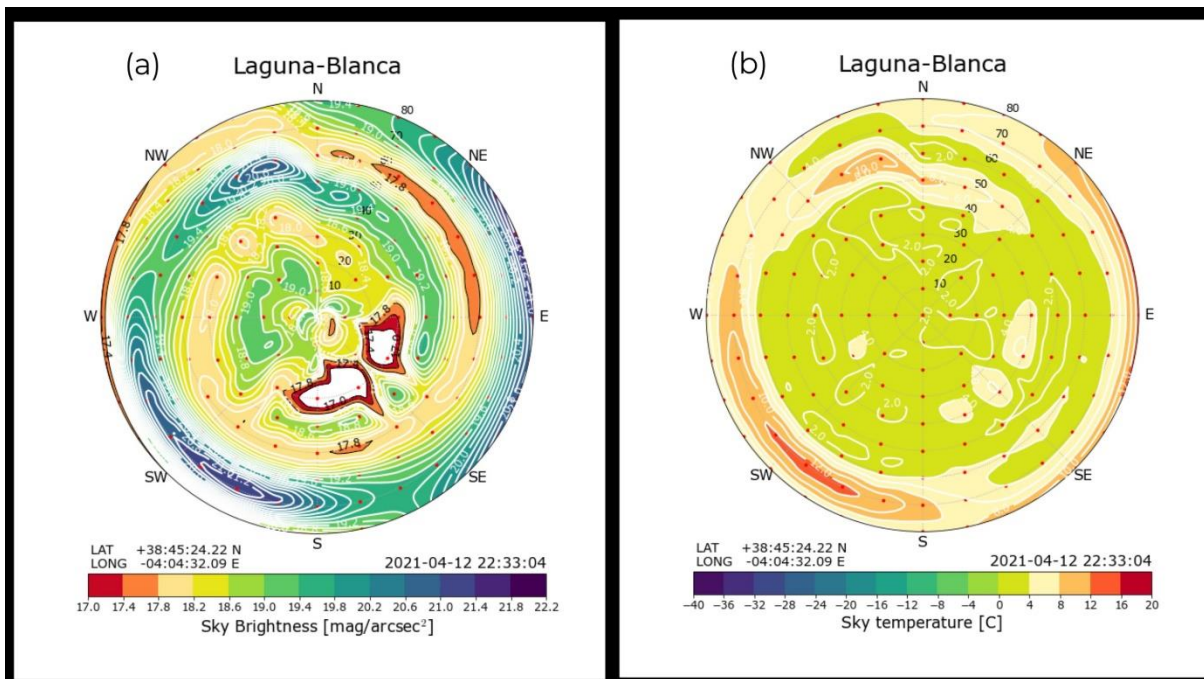


Figura 10: (a) Mapa de brillo del cielo. (b) Mapa de temperatura del cielo, Argamasilla de Cva. Laguna Blanca, 12/04/2021

LUGAR	FECHA	Hora
Corral de Calatrava, a 22 Km de Puertollano y 32 km de Ciudad Real	12 de abril de 2021	22h59m57s
RESULTADOS	Medición localizada en la zona más alejada de los dos núcleos poblacionales más grandes, muestra los mejores resultados de luminosidad, con una magnitud general cercana a los 19.5 mag/arcsec ² . La temperatura del cielo se sitúa en los 4 grados.	

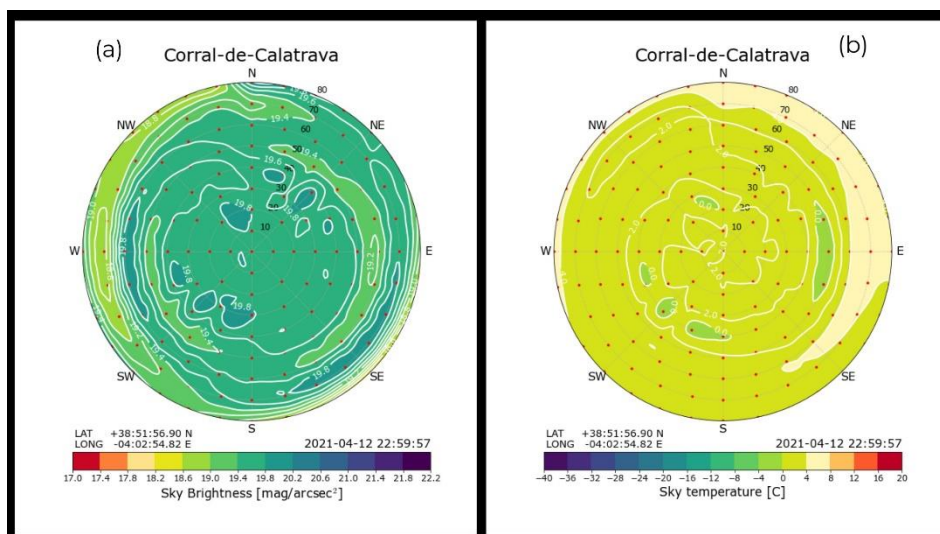


Figura 11: (a) Mapa de brillo del cielo. (b) Mapa de temperatura del cielo, Corral de Cva., 12/04/2021

LUGAR	FECHA	Hora
Poblete, a 32 Km de Puertollano y 8 km de Ciudad Real.	12 de abril de 2021	23h21m15s
RESULTADOS	<p>La medición realizada en Poblete, en principio resultó bastante confusa, con una gran zona de contaminación lumínica en la zona que abarca NW/W/SW con magnitud inferior a los 17.0 mag/arcsec². Como la localización de Ciudad Real se encuentra al norte del punto de medición, el resultado nos podría indicar que el fotómetro no se orientó correctamente al Norte. Esta conclusión sin embargo se descarta, al comprobar que a menos de 1,5 km dirección SW del punto de medición se encuentra una subestación de bombeo del oleoducto Tarragona-Puertollano, instalación que aunque pequeña dispone de unos focos muy potentes que habrían determinado el resultado de la medición en esa dirección.</p> <p>El foco de contaminación que aparece dirección NW de 17.8 mag/arcsec² se correspondería con el foco de contaminación de la iluminación de Ciudad Real capital, existiendo otro pequeño foco contaminado dirección Norte (Poblete) y dos focos más dirección Sur con magnitudes ambos de 17.8 mag/arcsec² y que se corresponderían, el más cercano y pequeño al aeropuerto de Ciudad Real, y el más extenso y lejano al brillo procedente de Puertollano.</p>	

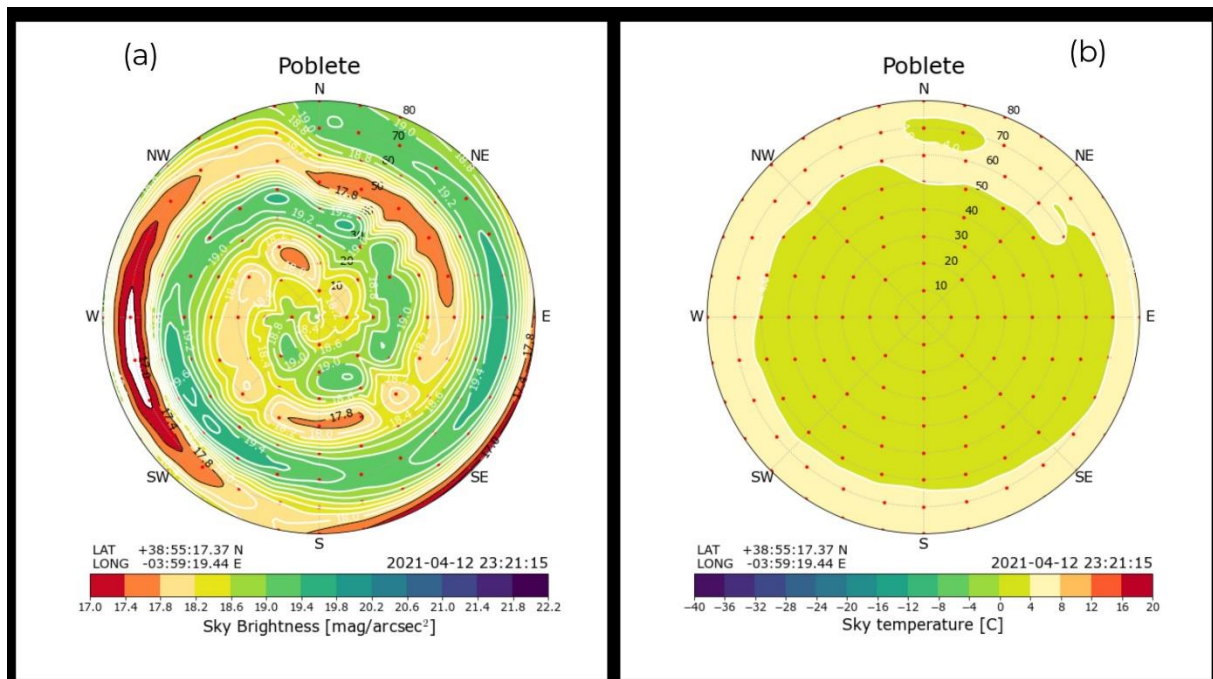


Figura 12: (a) Mapa de brillo del cielo. (b) Mapa de temperatura del cielo, Poblete, 12/04/2021

4.7.Ruta 5

FECHA	INICIO	FINAL
16 de marzo de 2021	20h41m02s	22h53m59s
CONDICIONES	Noche parcialmente nublada con una luminosidad de la Luna del 6 %, (2,3 edad de La Luna).	
RECORRIDO	Ruta de 160,20 Km. En esta ruta nos adentramos en la comarca de los Montes de Toledo al Noroeste de la provincia, fronteriza con la provincia de Toledo. Horcajo de los Montes y Alcoba, dos de los pueblos por los que discurre la ruta de medición, se encuentran situado en el área de influencia socioeconómica del Parque Nacional de Cabañeros con terrenos dentro de los límites del propio parque.	
DESCRIPCIÓN	<p>Nos encontramos con una zona escasamente poblada cuya actividad principal es la agricultura y la ganadería, la apicultura o la extracción de corcho. El Parque Nacional de Cabañeros creado el 20 de noviembre de 1995 alberga uno de los bosques mediterráneos españoles más importantes y mejor conservados con una superficie de 40.856 ha.</p> <p>El viaje lo iniciamos en Picón a 15,6 Km. de Ciudad Real en dirección norte por la CM 412 hasta Porzuna a 15,5 Km., pasada esta población continuamos por la CM 4106 con destino a Horcajo de los Montes, encontrándonos a 14,2 Km. El Robledo a 18,1 Km. después Alcoba y finalmente a 19,9 Km. Horcajo de los Montes. Para regresar a Ciudad Real y con el fin de aumentar el área de medición tomamos una desviación entre las localidades de Alcoba y El Robledo dirección Oeste abandonamos la CM 412 y accedemos a la CR-P-7221 para regresar por Piedrabuena que se encuentra a 64,3 Km. de Horcajo de los Montes. Finalizamos la ruta por la N 430 recorriendo 28,2 Km. hasta llegar a Ciudad Real.</p>	
RESULTADOS	<p>Media: 20,96921 mag/arcsec²; Mediana: 21,05mag/arcsec²;Máxima oscuridad: 21,23 mag/arcsec².</p> <p>Los puntos de máximo brillo del cielo se localizan en la entrada a Ciudad Real con medidas inferiores a 20 mag/arcsec². Durante el resto del viaje las mediciones siempre superaron los 20 mag/arcsec². El punto mínimo brillo conseguido en la ruta es de 21,23 mag/arcsec² a las 21h 27' 35" a medio camino entre las localidades de Alcoba y Horcajo de los Montes 39° 17' 52,35" N, 4° 34' 41,78" W. Las mediciones especialmente de esta ruta podrían ofrecer mejores resultados si se realizan en mejores condiciones, con menor reflejo de la Luna y sin las restricciones horarias impuestas por el toque de queda y confinamientos perimetrales vigentes en la fecha de medición por la situación de emergencia sanitaria. Los resultados se pueden observar en el siguiente mapa de brillo (Fig. 13)</p>	

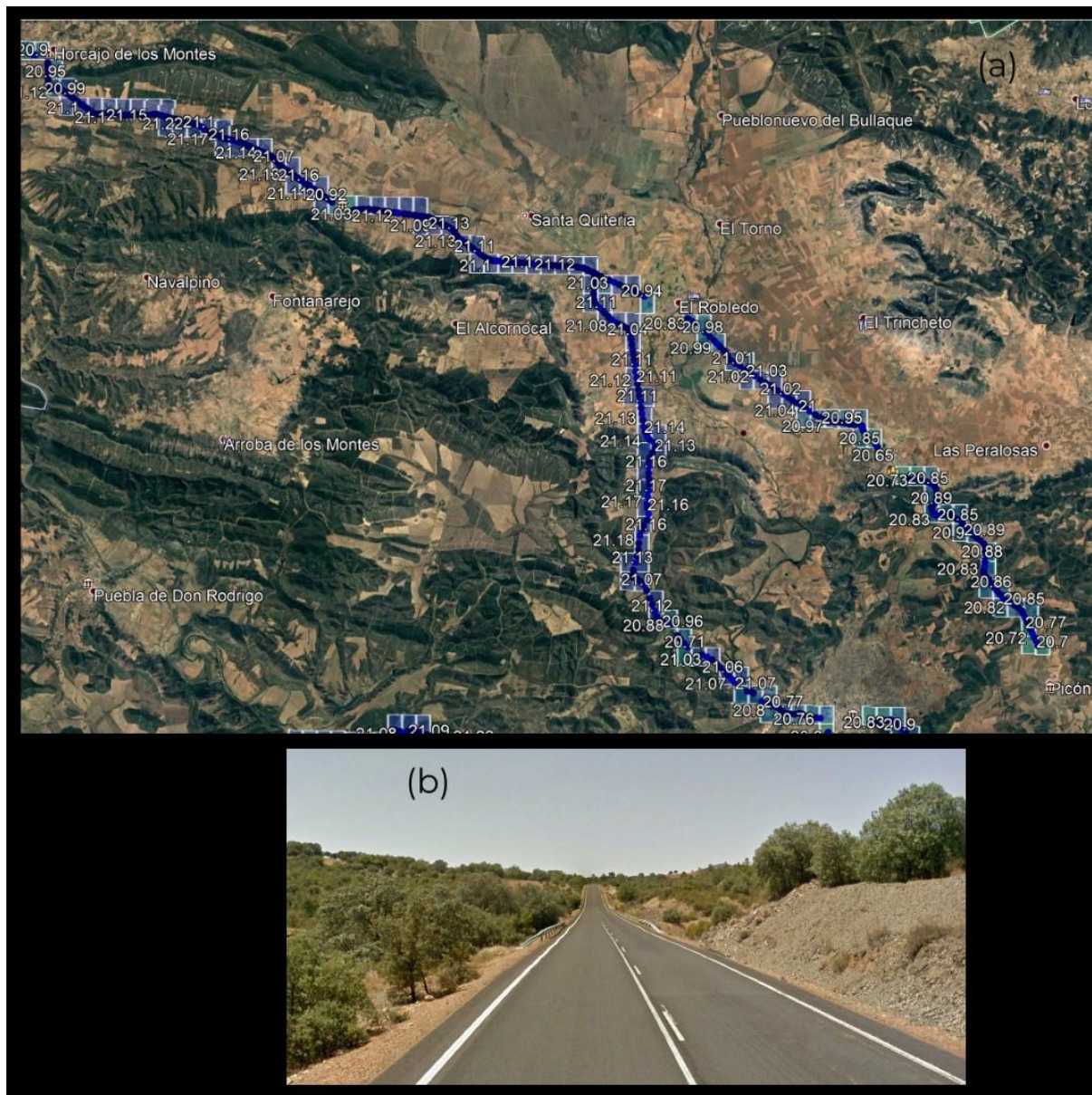


Figura 13: (a) mapa de brillo ruta 5, 16 de marzo de 2021. (b) Punto mínimo brillo ruta 5

5. Conclusiones

Las mediciones realizadas pueden servir para lograr una aproximación al estado del cielo nocturno en una zona extensa como es en el presente caso la provincia de Ciudad Real, si bien, para realizar un estudio más en profundidad de cualquier área de medición, las mediciones con el fotómetro TAS debe complementarse con medición con diversos sistemas técnicos y de forma constante en el tiempo.

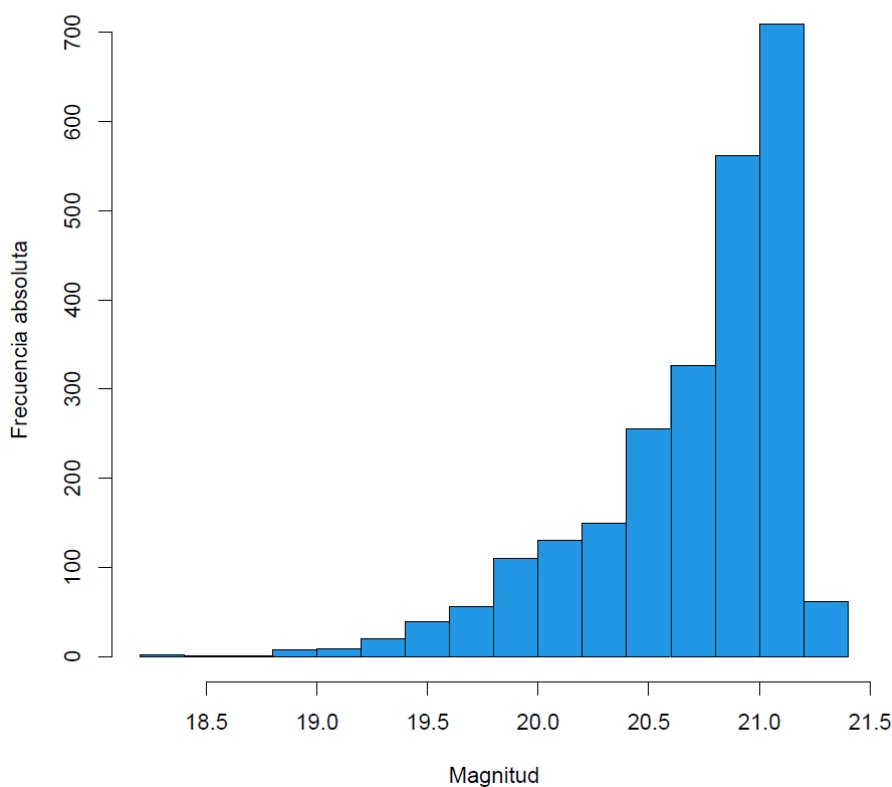
El trabajo es limitado por el propio formato y contexto, al tratarse de un TFG la extensión del trabajo es muy reducida, y un análisis más completo exigiría un marco más amplio como podría ser un TFM o una Tesis Doctoral. A estas limitaciones formales se le une que en el momento de realizar el estudio nos encontramos en una grave situación de pandemia con declaración del estado de alarma y medidas restrictivas de movilidad, con confinamiento parcial en determinadas poblaciones y limitación horaria

con toque de queda entre las 23,00h y 07,00h en ocasiones y en otros momentos entre las 0,00h y las 07,00h., lo que impidió realizar las mediciones en un horario mucho más adecuado.

El método utilizado de mediciones (mediciones en movimiento, trazando rutas) ha permitido abarcar amplias zonas de medición, y las mediciones estáticas han permitido confirmar las mediciones en movimiento realizadas.

En esta aproximación realizada, podríamos concluir que la provincia de Ciudad Real, en general, disfruta de un cielo nocturno estrellado con una calidad aceptable, muy superior lógicamente a puntos mucho más poblados como puede ser Madrid y su zona de influencia, en la que han realizado mediciones varios compañeros para trabajos de años anteriores¹¹ No obstante, es necesario que todas las poblaciones, con independencia de su mayor o menor número de habitantes, se conciencien de la necesidad de adecuar su iluminación nocturna para proteger el derecho de sus ciudadanos a un cielo estrellado. Si partimos de un buen estado del cielo nocturno, no podemos permitirnos perderlo y debemos tratar de recuperarlo allí donde el cielo estrellado se ha perdido.

Histograma de magnitudes en la provincia de Ciudad Real



¹¹ https://nixnox.stars4all.eu/wp-content/uploads/memoria_NixNox_TFG_2017-18_Azhara_Rojas.pdf
https://nixnox.stars4all.eu/wp-content/uploads/memoria_NixNox_TFG_2018-19_Jesus_Escribano.pdf
https://nixnox.stars4all.eu/wp-content/uploads/memoria_NixNox_TFG_2018-19_JohnEduard_Martinez.pdf
https://nixnox.stars4all.eu/wp-content/uploads/memoria_NixNox_TFG_2019-20_Arturo_Prieto.pdf
https://nixnox.stars4all.eu/wp-content/uploads/memoria_NixNox_TFG_2019-20_MaDolores_Guio_Salinas.pdf

Se ha podido constatar en las mediciones realizadas, que con independencia del nivel poblacional, los grandes centros industriales provocan por sí mismos graves efectos de contaminación lumínica, siendo paradigmático el caso de que Puertollano, ciudad que no siendo la localidad más poblada de la región, sufre sin embargo una contaminación lumínica muy importante, que le afecta directamente a esta localidad y a su zona de influencia.

Las medidas de brillo del cielo constituyen datos empíricos del problema de la contaminación lumínica, deben servir para concienciar y convencer a las grandes empresas contaminantes y a los responsables políticos para que adopten las medidas necesarias para corregir y modificar su alumbrado nocturno, deben servir para que las empresas suministradoras del material de iluminación enfoquen su producción a material no contaminante, o al menos, que provoque menor contaminación, y debe servir para que el ciudadano se conciencie de que un exceso de iluminación nocturna no significa progreso, bien al contrario, un exceso de contaminación significa retroceso en los derechos y en el progreso del hombre.

Ciudad Real no es una provincia rica, ni densamente poblada, por ello está obligada a preservar cualquier fuente de riqueza de la que disponga, entre ellas, su cielo estrellado.

6. Bibliografía

- Alfaro, E; Martínez, D; Sánchez de Miguel, A; Zamorano, J. (2011) Proyecto NixNox: Disfrutando de los cielos estrellados de España. *Astronomía*. N°142 págs. 36-42
- Bandrés, E. y Azón, V. (2021). *La despoblación de la España interior*. Madrid: Funcas.
- Cañizares, Maria del Carmen. (1999) Puertollano de la “ciudad del carbón” a la “ciudad del petróleo”. Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, UCLM, cervantesvirtual.com
- Ruiz Pulpón, A.R. y Ruiz Gonzalez, F. (2020) Estudio de la despoblación y el despoblamiento en la provincia de Ciudad Real. Informe D2CR 2020 (d2cr.uclm.es). Universidad de Castilla-La Mancha.
- Sánchez de Miguel, A; Zamorano, J (2011) Midiendo la contaminación del cielo desde el espacio. *Física y Sociedad* n° 21 págs. 24-25.
- Trujillo, H y otros. (2000) La iluminación como servicio público: una aproximación desde la psicología. XXVI Simposium Nacional de Alumbrado. Ciudad Real.
- Zamorano, J. Conferencia. Contaminación lumínica y ciencia ciudadana. Societat Astronòmica de Figueres. 19/03/2021.
- <https://www.fundacionstarlight.org>
- <https://actionproject.eu>
- <https://stars4all.eu>
- <https://nixnox.stars4all.eu>
- <https://www.cie.co.at/cie>

- <https://www.gea.cesca.es/>
- <https://www.lichtthinder.vuurwerk.nl>
- <https://www.cela.com>
- <https://www.ggw.org/selene/>
- https://nixnox.stars4all.eu/wp-content/uploads/memoria_NixNox_TFG_2017-18_Azhara_Rojas.pdf
- https://nixnox.stars4all.eu/wp-content/uploads/memoria_NixNox_TFG_2018-19_Jesus_Escribano.pdf
- https://nixnox.stars4all.eu/wp-content/uploads/memoria_NixNox_TFG_2018-19_JohnEduard_Martinez.pdf
- https://nixnox.stars4all.eu/wp-content/uploads/memoria_NixNox_TFG_2019-20_Arturo_Prieto.pdf
- https://nixnox.stars4all.eu/wp-content/uploads/memoria_NixNox_TFG_2019-20_MaDolores_Guio_Salinas.pdf