

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**

Study of Light Pollution using Night Sky Brightness observations

Supervisor/es: Jaime Zamorano

Aitor Morales Carretero

Grado en Física

Curso académico 2020-21

Convocatoria de junio

Resumen:

En este trabajo se presentan y analizan medidas del brillo de cielo nocturno, tomadas en tres zonas ubicadas al norte de Madrid. Se explica el procedimiento realizado para hacer estas medidas, además de analizarlas para poder identificar las principales fuentes de contaminación lumínica en las zonas estudiadas. También se compararán las medidas tomadas en diferentes meses y horas.

Este estudio pretende servir de ayuda al proyecto NixNox, cuyo objetivo principal es seleccionar las zonas de España más adecuadas para la observación nocturna.

Abstract:

The following paper presents and analyzes measurements of the night sky brightness, taken in three areas located at the northern part of Madrid. The procedure carried out to make these measurements is explained, in addition to analyzing them in order to identify the main sources of light pollution in the studied areas. Measurements taken in different months and times will also be compared.

This study aims to help the NixNox project, whose main objective is to select the most suitable areas of Spain for night observation.

Índice

1. Introducción

1.1. El proyecto NixNox

2. Objetivos

3. Metodología

3.1. Equipo necesario

3.2. Condiciones adecuadas

3.3. Proceso de medida

4. Medidas

4.1. Hortelanos Tricantinos (Tres Cantos)

4.2. Funeraria (Colmenar Viejo)

4.3. Presa del Grajal (Colmenar Viejo)

5. Conclusiones

6. Bibliografía y recursos

1. Introducción

Este trabajo pretende mostrar el efecto que tiene la contaminación lumínica sobre nuestro entorno. El crecimiento constante de las ciudades va reduciendo los espacios naturales que se encuentran entre las mismas, siendo estos uno de los lugares más cercanos en los que astrónomos y aficionados pueden realizar observaciones nocturnas. Además del mencionado crecimiento de las zonas urbanas, están presentes los efectos negativos de la contaminación atmosférica y lumínica. Esto provoca que cada vez sea más difícil encontrar zonas en condiciones óptimas para poder realizar observaciones astronómicas, incluso en zonas más alejadas como la montaña.

Pese a lo mencionado anteriormente, en los últimos años la relevancia de los temas relacionados con la contaminación y el medio ambiente ha aumentado. Este es un dato positivo, ya que la humanidad está concienciándose de la situación actual en la que vive y actuando al respecto. Entre las medidas que se están llevando a cabo está la reducción de emisiones de agentes contaminantes a la atmósfera, algo que desde luego ayudará al ámbito de las observaciones astronómicas. Un dato relacionado con la contaminación actual es el efecto que ha tenido la pandemia ocasionada por la COVID-19, resultando en un impacto positivo para la naturaleza. Esto es debido al confinamiento ocurrido la pasada primavera, el cual redujo las emisiones y por tanto provocó una mejora en el estado de nuestro cielo.

Sin embargo, la contaminación lumínica no suele tenerse tan en cuenta como las otras. La principal causa de este tipo de contaminación es la mala eficiencia del alumbrado en ciudades y carreteras, ya que parte de la luz emitida por dichas fuentes se disipa de forma residual en el entorno. Este fenómeno es el que hace más difícil realizar observaciones en las vecindades de nuestros hogares. Además, es capaz de afectar en otros niveles a la naturaleza, como a su fauna y su flora. Un ejemplo de estos efectos añadidos mencionados son los desajustes que puede provocar en los ciclos de migración de algunas aves.

Solucionar este problema, además de otros similares que afectan a nuestro planeta, es crucial para un mejor futuro. La solución para este problema concreto es encontrar un sistema de iluminación eficiente que permita la actividad urbana y no afecte de forma negativa a la naturaleza; o en su defecto, que reduzca lo máximo posible la luz residual generada sobre el ambiente.

1.1. El proyecto NixNox

Este proyecto es una iniciativa impulsada por la Sociedad Española de Astronomía (SEA), cuyos objetivos principales son la elaboración de un mapa de España con zonas de observación óptimas y la concienciación de la contaminación del cielo.

Animando tanto a profesionales del campo de la astrofísica como a aficionados de la observación, este proyecto recoge mapas del cielo para poder estudiar las condiciones de las diferentes zonas del país y construir una guía con las mejores zonas para poder realizar observaciones nocturnas.

La doble utilidad de este proyecto es el seguimiento que hace de la contaminación en las zonas ya analizadas, debido a que es típico y útil repetir lugares y ver su evolución a lo largo de los años. Esto también es una ayuda para comprobar la efectividad de las medidas que se aprueban para combatir el cambio climático.

Aquí se adjunta página principal del proyecto, además del mapa que aparece en la misma:

<https://nixnox.stars4all.eu/>



Figura 1 Mapa del proyecto NixNox

En definitiva, el proyecto es una gran ayuda para la sociedad gracias a las diferentes aplicaciones mencionadas.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es realizar medidas de diferentes zonas y analizarlas, observando las principales fuentes de contaminación lumínica que afectan a dichas zonas.

Se han preparado mapas del brillo del cielo de tres zonas ubicadas al norte de Madrid, concretamente en zonas próximas a las ciudades de Tres Cantos y Colmenar Viejo. Estos mapas tienen el mismo formato que los del proyecto NixNox, al cual sirven de aportación.

Además de analizar las fuentes de luz en dichas zonas, se estudiarán otros detalles importantes. Ejemplos de dichos detalles son las diferencias entre medidas tomadas en distintos meses y horas para una misma zona, la influencia del material utilizado para tomar las medidas, el efecto de las condiciones del cielo y las diferencias con una medida de otro año.

3. Metodología

Para poder hacer medidas del brillo del cielo es necesario contar con el equipo requerido para ello, además de tener en consideración las condiciones de ese día. En este apartado se exponen los materiales necesarios para llevar a cabo las mediciones, las condiciones adecuadas que se deben cumplir para poder realizarlas y los pasos que tiene el proceso de medida.

3.1. Equipo necesario

El elemento fundamental del equipo que se usará para tomar los datos es un fotómetro TAS (TESS Automatic Scan), el cual ha sido proporcionado por la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Se adjunta una imagen del detector:



Figura 2 Fotómetro TAS

Se trata de un detector portátil capaz de realizar autobarridos del cielo a diferentes alturas, desde 10° hasta 90° . Este aparato proporcionará los datos necesarios para construir los mapas del cielo que posteriormente se analizarán. El fotómetro cuenta con sensores para poder medir el brillo, la temperatura ambiente y la temperatura IR. También posee una base con rosca para colocarlo sobre un trípode fotográfico, el cual será otro de los aparatos necesarios del equipo empleado.

El trípode fotográfico es el segundo elemento que se utilizará para tomar medidas. Es necesario que el fotómetro se ubique a una altura en la que no tenga obstáculos a la hora de hacer el barrido, por lo que el uso del trípode es indispensable. Es también un soporte fijo en el que apoyar el detector; sin dicho soporte, la vibración y falta de sujeción impedirían realizar un reconocimiento correcto.

El último elemento del equipo es un teléfono móvil, más concretamente la aplicación TESS-P instalada previamente en el mismo. Dicha aplicación conecta el teléfono al fotómetro, lo que permite controlar el detector a distancia, ver los parámetros atmosféricos de la ubicación y guardar los ficheros generados para su posterior lectura y conversión a mapas.

3.2. Condiciones adecuadas

Es necesario que se cumplan una serie de condiciones para seleccionar el día de toma de datos.

La primera condición es que no haya luna durante la medida. Se trata de una condición obvia, ya que la luz proveniente de la luna afectaría enormemente a los datos registrados. Esto puede solucionarse midiendo en días con luna nueva, o consultando la hora de salida y puesta para evitar la coincidencia. Para este trabajo en concreto, sólo se tomaron medidas en días de luna nueva o próximos a los mismos.

La segunda condición es que haya cielo despejado. Esta es otra condición obvia, ya que las nubes reflejan la luz y también impiden la visibilidad del cielo. En este caso no hay más opción que esperar a que se den las condiciones favorables. Para este trabajo en concreto, se tomó una medida de cada zona con alguna pequeña nube para ver si se notaban sus efectos.

La tercera condición es ubicarse en un lugar alto y despejado, con el horizonte visible. Una vez más se trata de una condición obvia, pues escoger un valle o una zona con muchos obstáculos visuales reducirá el rango del detector o impedirá unas medidas adecuadas.

La cuarta condición es medir después del crepúsculo astronómico. Esto impedirá que la luz del Sol interfiera con el brillo del cielo. Para este trabajo en concreto, debido al toque de queda impuesto por la Comunidad de Madrid ante la pandemia ocasionada por la COVID-19 no fue posible esperar el tiempo suficiente para asegurar esta condición en todas las zonas de medida.

La última condición a tener en cuenta es evitar zonas con iluminación artificial cercana. Una condición de nuevo obvia, ya que una influencia directa de fuentes de luz artificial sobre el detector inutilizará las medidas tomadas.

Tras haber revisado todas estas condiciones se puede iniciar el proceso de medida.

3.3. Proceso de medida

Una vez se tienen el equipo necesario y las condiciones adecuadas es hora de iniciar el proceso de medida.

Lo primero es desplazarse a la zona elegida. Para este trabajo en concreto, todas las zonas escogidas son de fácil acceso y no están excesivamente alejadas de la ciudad. El desplazamiento a las mismas se realizó en coche. Es el método más recomendable, aunque también es posible acceder a pie o en bicicleta.

Ya en la ubicación seleccionada, es recomendable esperar unos 5 minutos para que el fotómetro se ajuste a la temperatura ambiente. Normalmente ese es el tiempo que se suele tardar en escoger el punto para la medición, colocar bien el equipo y revisar que todo esté en orden para comenzar a tomar datos.

Se escoge el punto donde se colocará el trípode fotográfico, con el fotómetro ya ajustado al mismo. El punto elegido debe cumplir lo ya expuesto en el apartado anterior sobre condiciones adecuadas, concretamente en lo que respecta a ser un lugar alto y despejado. Es importante que el fotómetro esté bien ajustado al trípode, para evitar problemas en los barridos. Para este trabajo en concreto, se tomaron unas medidas de prueba en las que se puede apreciar este efecto negativo; se incluirán más adelante en el apartado correspondiente.

Una vez montado el equipo y conectado el fotómetro al teléfono móvil gracias a la aplicación TESS-P, deben revisarse unos últimos detalles antes de empezar.

Primero, se debe comprobar que el fotómetro está colocado perpendicular al horizonte y apuntando al cenit. Esto es vital, ya que de lo contrario las medidas tomadas serán erróneas.

Después, se debe comprobar que el fotómetro apunte al norte. Usando una brújula manual o una aplicación de igual funcionamiento, se hace coincidir la marca ya apuntada en el fotómetro con esa dirección.

Por último, antes de iniciar el proceso de toma de datos es recomendable alejarse del equipo para evitar actuar como un obstáculo o reflector.

Después de seguir todo este proceso se puede comenzar la medida. Una vez iniciada, bastará con esperar unos 2,5 minutos para obtener los resultados. Los datos serán guardados en ficheros que posteriormente se podrán convertir en mapas.

4. Medidas

En este apartado se muestran las medidas realizadas en tres zonas diferentes del norte de Madrid.

Las tres zonas elegidas para este trabajo forman un arco, lo que permite comprobar con facilidad la influencia lumínica de la ciudad de Madrid sobre estos lugares. Dicha influencia será el efecto más notable de contaminación lumínica que se observará en el mapa de cada zona.

Se adjunta un mapa de la región, indicando las zonas estudiadas en el mismo:

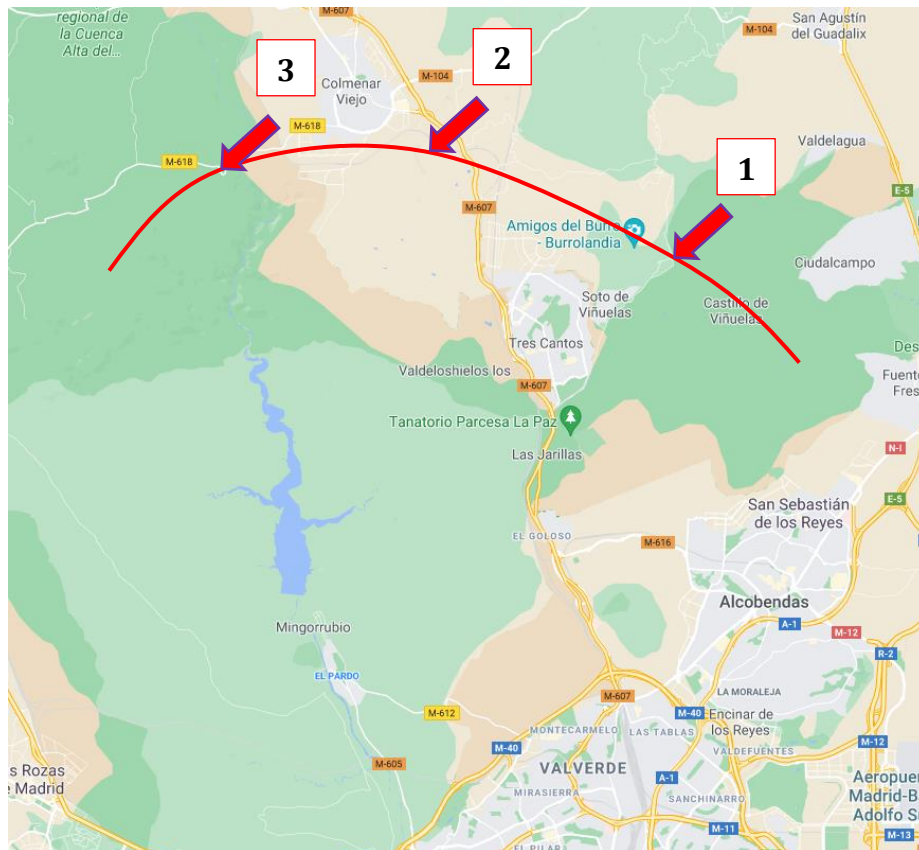


Figura 3 Mapa con las zonas estudiadas

Las zonas estudiadas, en el orden indicado en el mapa, son las siguientes: Hortelanos Tricantinos (Tres Cantos), Funeraria Nuestra Señora de los Remedios (Colmenar Viejo) y Presa del Grajal (Colmenar Viejo).

Este orden de zonas indicado en el mapa es el mismo que se seguirá en esta sección para presentar los resultados.

Ahora se comentarán varios aspectos del trabajo realizado para tomar los datos de las tres zonas, y posteriormente se analizarán las medidas para cada zona en su apartado correspondiente.

Como se ha mencionado anteriormente, todas las medidas han sido realizadas en zonas de fácil acceso. Además, únicamente se han hecho en días con luna nueva o próximos a los mismos. También se ha dicho que los datos se han recogido en días con cielo despejado, a excepción de la última medida de cada zona; estas se tomaron con alguna pequeña nube en el cielo.

El orden de medición de las zonas seguido comienza en la Presa del Grajal (zona 3) y termina en Hortelanos Tricantinos (zona 1). Para comprobar si este orden de medición influye en los resultados, la última medida de cada zona se tomó en el orden inverso al habitual.

Otra cuestión a puntualizar es la referente a oportunidades de medición. Inicialmente se realizaron unas medidas de prueba en Hortelanos Tricantinos (zona 1) el mes de diciembre. Sin embargo, estas medidas contienen errores debido a que el fotómetro y el trípode no estaban bien ajustados. Este caso concreto se discutirá en la sección dedicada a esta zona. Posteriormente, se tomaron medidas en febrero, marzo y mayo para las tres zonas estudiadas. No fue posible medir bajo las condiciones especificadas más arriba ni en enero ni en abril. Concretamente en estos dos meses, fueron la nieve acumulada tras el paso de la borrasca Filomena en enero y las tormentas primaverales en abril las causas de perder la oportunidad en dichos casos.

Tras hacer estas aclaraciones generales, se procede al análisis de las medidas.

4.1. Hortelanos Tricantinos (Tres Cantos)

La primera zona se ubica a las afueras de la ciudad de Tres Cantos, en pleno campo. En esta ubicación las principales influencias lumínicas son Colmenar Viejo, la autovía M-607, Tres Cantos, Madrid y San Sebastián de los Reyes.

Se adjunta un mapa de la región, indicando la zona estudiada:

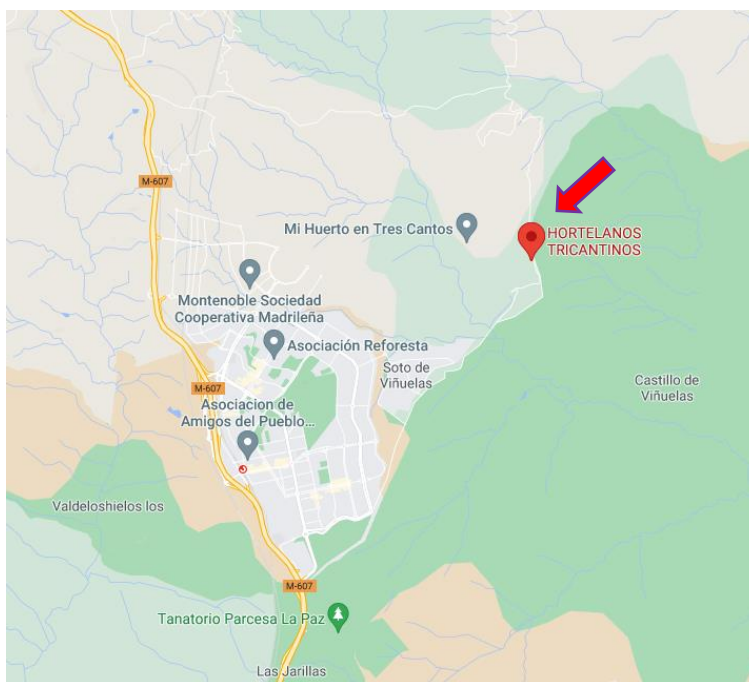


Figura 4 Mapa con la primera zona estudiada

Ahora se adjuntan y analizan los mapas realizados en esta zona:

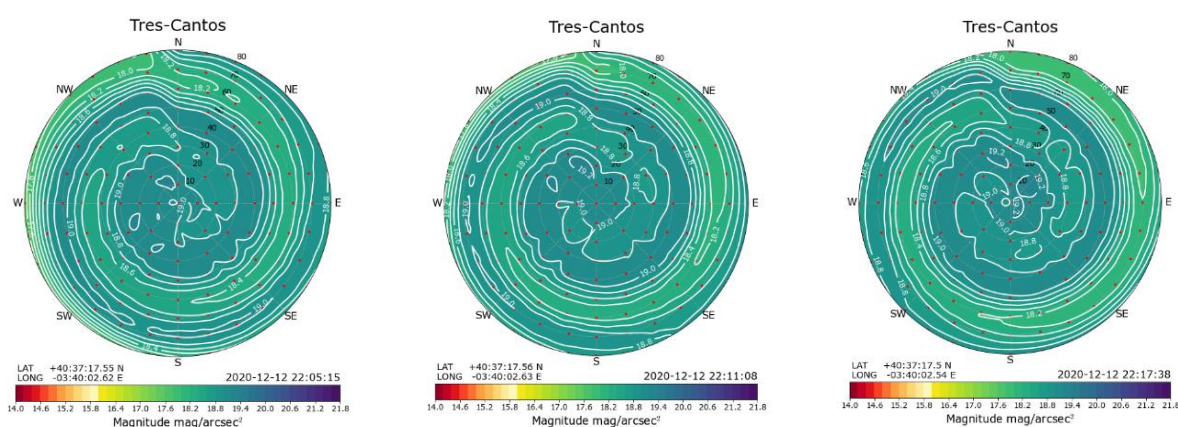


Figura 5 Mapas de prueba diciembre

En estos primeros mapas de prueba realizados en diciembre sólo destacaremos el efecto negativo producido por un error en el proceso de medida; para el análisis se usarán los otros mapas posteriores.

Como ya ha sido mencionado en varios puntos anteriores, estas medidas en concreto contienen errores debido a un mal ajuste mecánico del fotómetro y el trípode empleados. Al no estar lo suficientemente apretado, el fotómetro realizaba un barrido variable que no terminaba en el mismo punto de inicio.

Estas tres medidas se realizaron seguidas y sin revisar entre el final de la anterior y el principio de la siguiente, razón por la que este error no se detectó hasta analizar los datos obtenidos. Al mirar los mapas puede verse un desplazamiento en el patrón obtenido, especialmente notable en los bordes de los mapas. Esto sirve para demostrar que es muy importante revisar todos los detalles antes de hacer cualquier medida.

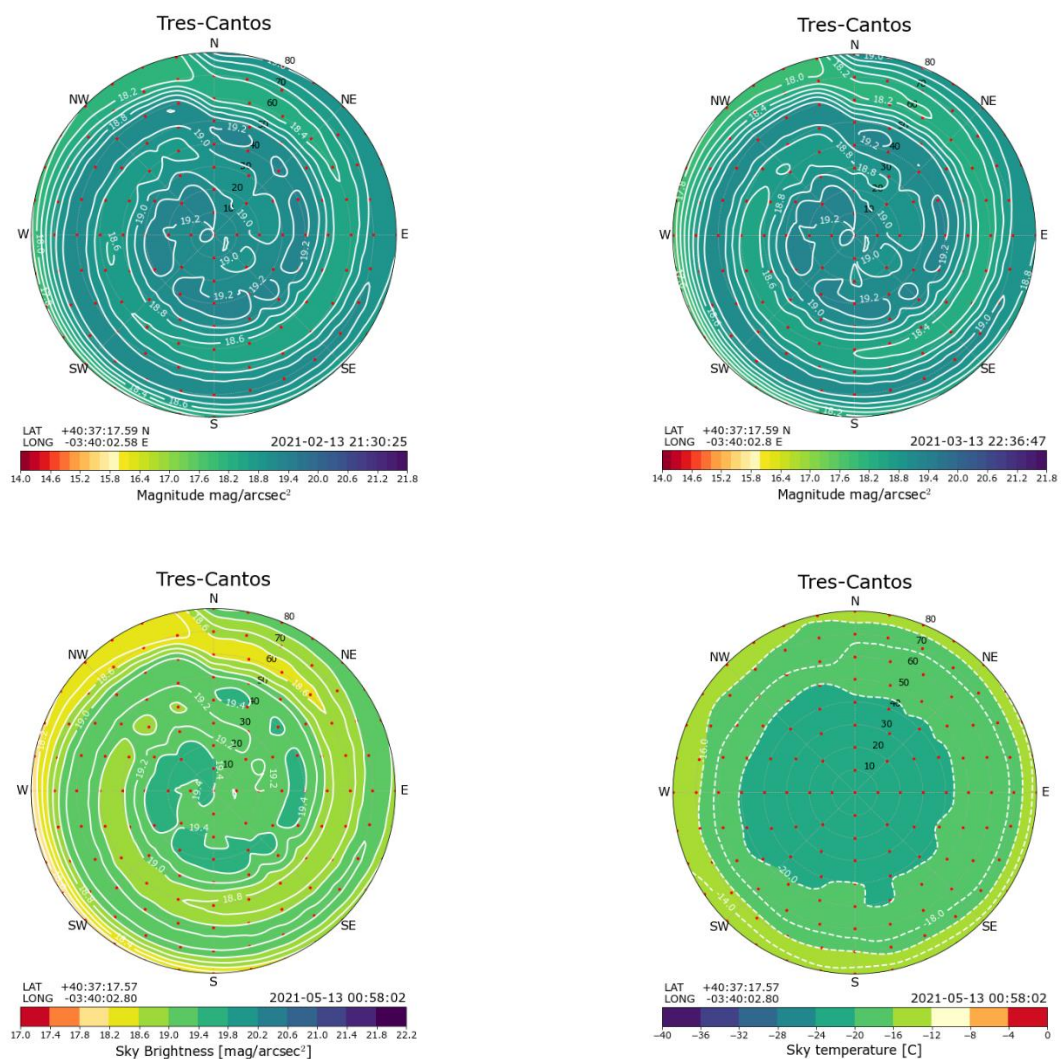


Figura 6 Mapas de febrero y marzo (arriba) y mapas de mayo para luminosidad y temperatura (abajo)

En estos mapas de la primera zona estudiada se observa un patrón algo peculiar. Al ser una región elevada respecto a sus alrededores tiene sentido que las mayores fuentes de contaminación a bajas alturas sean Tres Cantos y Colmenar Viejo, las ciudades más cercanas al lugar.

Pero a medida que la altura aumenta aparece una nueva banda más luminosa, que a menores alturas no era percibida. Este cambio brusco es seguramente debido al terreno en el que se tomaron los datos. Al tratarse del campo, aún estando en un terreno elevado y despejado es complicado evitar todos los árboles y arbustos. Ya que estos obstáculos impiden medir adecuadamente ciertas alturas y secciones, son la causa más probable de la presente anomalía en los mapas. Las fuentes de contaminación principales de la banda luminosa mencionada son Madrid y San Sebastián de los Reyes.

A alturas más cercanas al cenit se encuentran regiones puntuales más despejadas, que permiten una mejor visión del cielo.

Comparando los tres mapas de luminosidad no se observan grandes diferencias. De hecho, las regiones puntuales más despejadas a alturas cercanas al cenit son prácticamente idénticas.

El mapa de luminosidad de mayo, que se midió en orden inverso y con alguna nube, no presenta cambios respecto a los medidos en los otros meses.

Por último, el mapa de temperatura de mayo muestra un comportamiento esperable, con regiones más frías según se acercan al cenit. Se observan anillos con tres temperaturas diferentes, y no presenta zonas puntuales dentro de dichos anillos.

4.2. Funeraria (Colmenar Viejo)

La segunda zona se ubica a las afueras de la ciudad de Colmenar Viejo, en un camino al sur de la Funeraria Nuestra Señora de los Remedios. En esta ubicación las principales influencias lumínicas son Colmenar Viejo, la autovía M-607, Tres Cantos y Madrid.

Se adjunta un mapa de la región, indicando la zona estudiada:

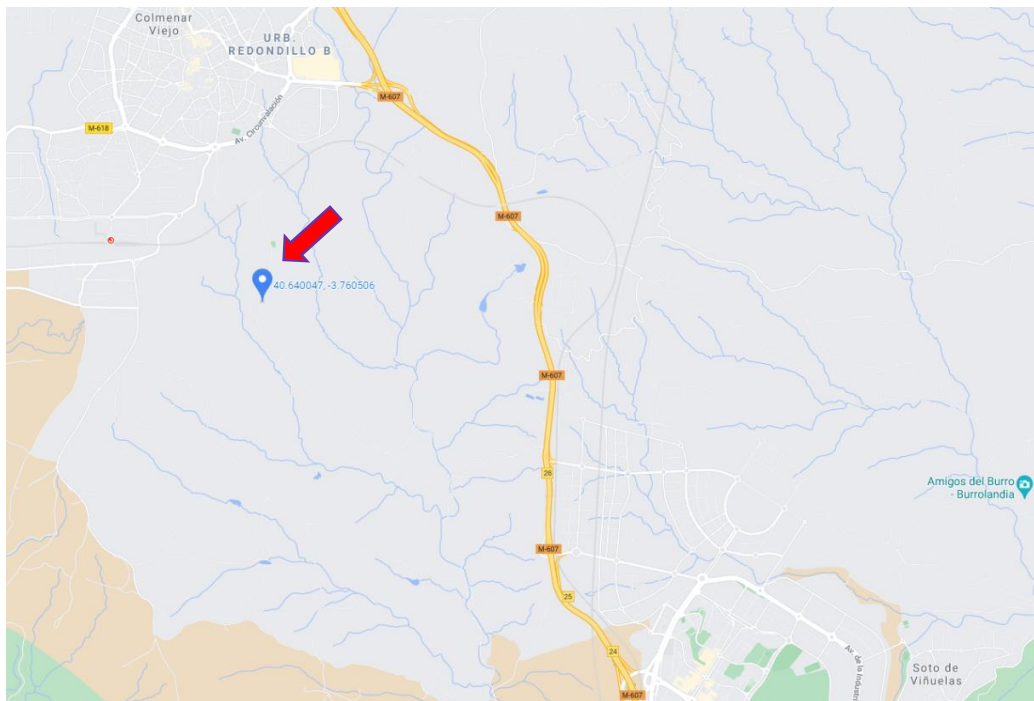


Figura 7 Mapa con la segunda zona estudiada

Una zona muy próxima a esta ya fue medida y analizada por el alumno Jesús Escribano en el año 2019. Su mapa, que se encuentra en la página del proyecto NixNox, se usará para comparar las medidas de ambas zonas cercanas en busca de diferencias. Ahora se adjuntan y analizan los mapas realizados en esta zona:

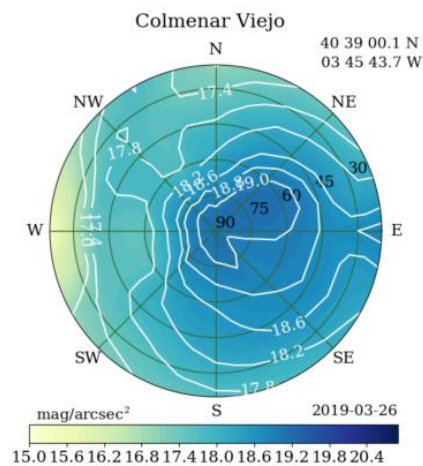


Figura 8 Mapa de Jesús Escribano

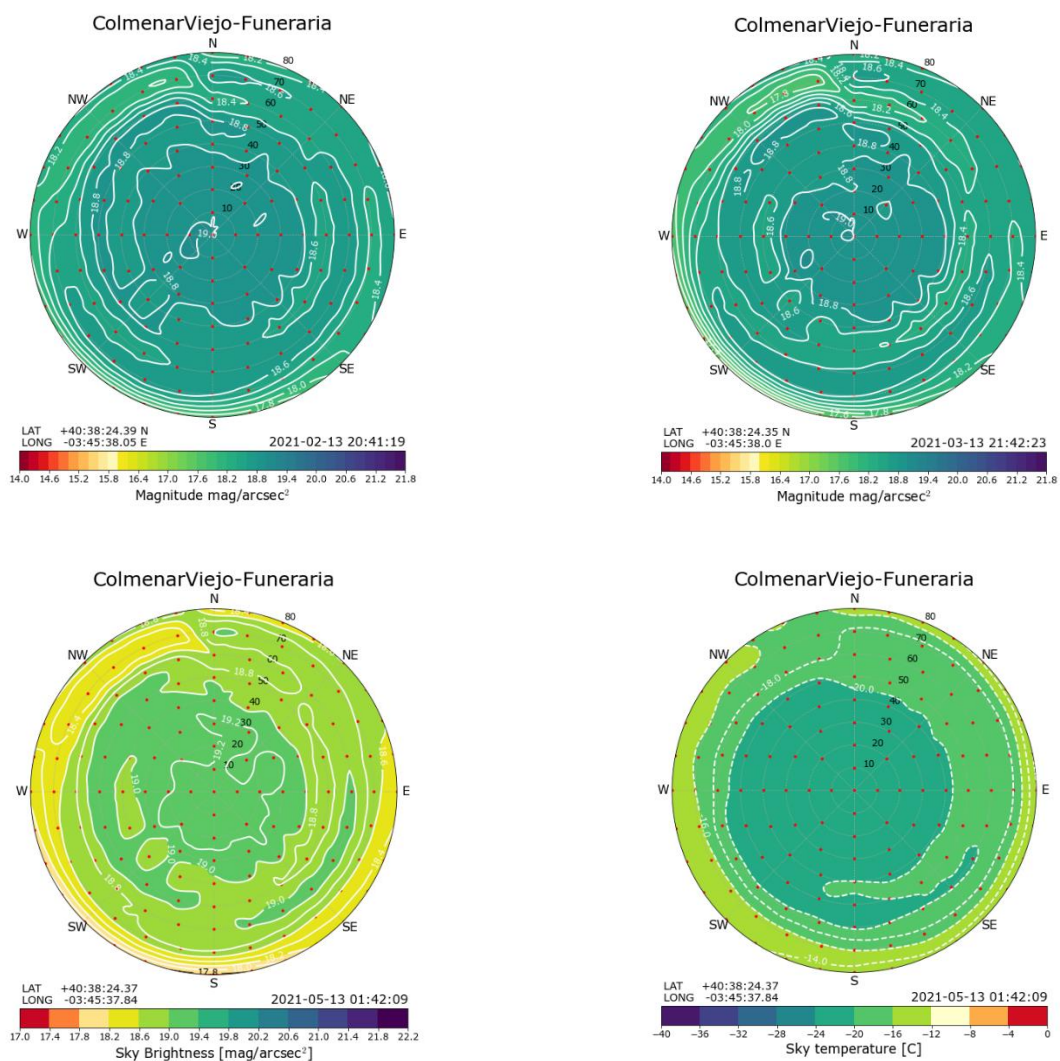


Figura 9 Mapas de febrero y marzo (arriba) y mapas de mayo para luminosidad y temperatura (abajo)

En estos mapas de la segunda zona estudiada se observa un patrón más típico que en los mapas de la primera zona. En este caso se trata de una región hundida respecto a sus alrededores. Sin embargo, el punto escogido para tomar los datos permitía no tener obstáculos que obstruyeran al fotómetro para tomar las medidas. Las mayores fuentes de contaminación se encuentran a bajas alturas, siendo Colmenar Viejo en el oeste, Madrid en el sur y la autovía M-607 en el este.

A medida que la altura aumenta, se mantiene una banda menos luminosa en el sur y el noreste. Las fuentes en esta banda siguen siendo Madrid en el sur y la autovía M-607 en el noreste.

A alturas más cercanas al cenit se encuentra una gran región más despejada, que permite una visión del cielo aún mejor que en el caso de a primera zona.

Comparando los tres mapas de luminosidad no se observan diferencias demasiado

llamativas, sólo algunas pequeñas variaciones en la distribución de las bandas a bajas alturas. La gran region más despejada a alturas cercanas al cenit es más parecida entre los dos mapas de arriba que con el tercero.

El mapa de luminosidad de mayo, que se midió en orden inverso y con alguna nube, presenta ligeros cambios respecto a los medidos en los otros meses. Estos cambios se perciben principalmente a medias alturas y superiores, donde puede verse que la gran región más despejada parece más pequeña en comparación. Estos ligeros cambios también se deben a la presencia de alguna nube en esta última medida, demostrando que tienen un efecto negativo que se debe evitar.

El mapa de temperatura de mayo muestra de nuevo un comportamiento esperable, con regiones más frías según se acercan al cenit. Se observan anillos con tres temperaturas diferentes al igual que en la primera zona, pero estos presentan algunas deformidades en comparación.

Por último, se usará el mapa de 2019 para compararlo con estos últimos. El mapa de 2019 presenta una diferencia notable a simple vista, y es que la fuente de contaminación más destacada se encuentra en el oeste. Esta fuente es sin duda Colmenar Viejo, y la razón de que se ubique al oeste en lugar de al noroeste es que el lugar de medida se encuentra más al norte que el lugar de medida usado actualmente. Teniendo en cuenta este pequeño cambio de ubicación es fácil ver que el resto de los detalles encajan entre los mapas de diferentes años. Además, las magnitudes en las diferentes secciones de los mapas son bastante similares, lo que indica que no ha habido un cambio notable en el cielo de esta zona.

4.3. Presa del Grajal (Colmenar Viejo)

La tercera zona se ubica a las afueras de la ciudad de Colmenar Viejo, en un camino conectado a la carretera que sube desde la Presa del Grajal en dirección Hoyo de Manzanares. En esta ubicación las principales influencias lumínicas son Colmenar Viejo, la autovía M-607 y Madrid.

Se adjunta un mapa de la región, indicando la zona estudiada:

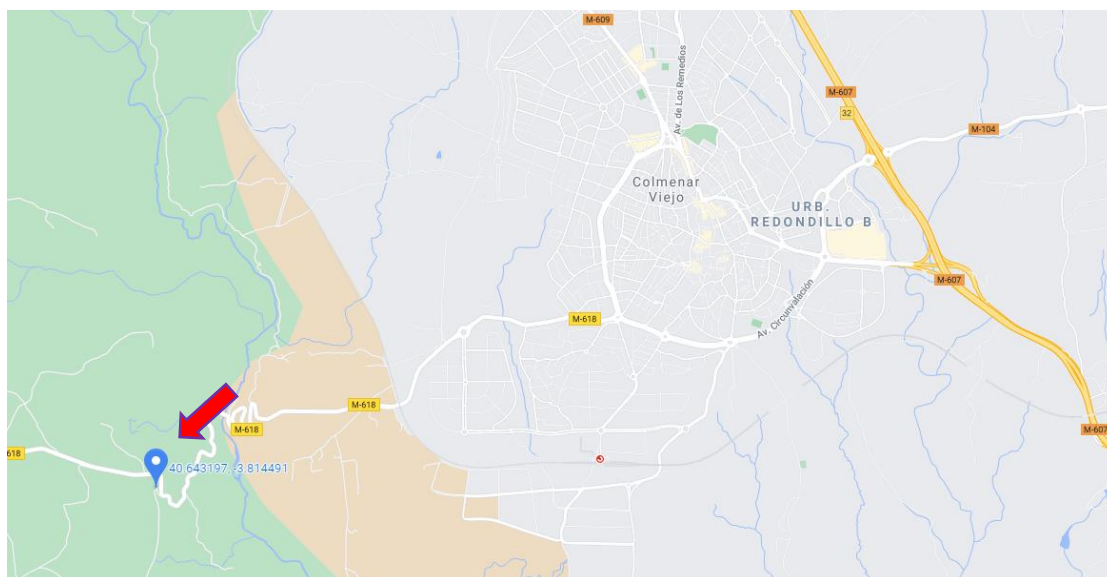


Figura 10 Mapa con la tercera zona estudiada

Ahora se adjuntan y analizan los mapas realizados en esta zona:

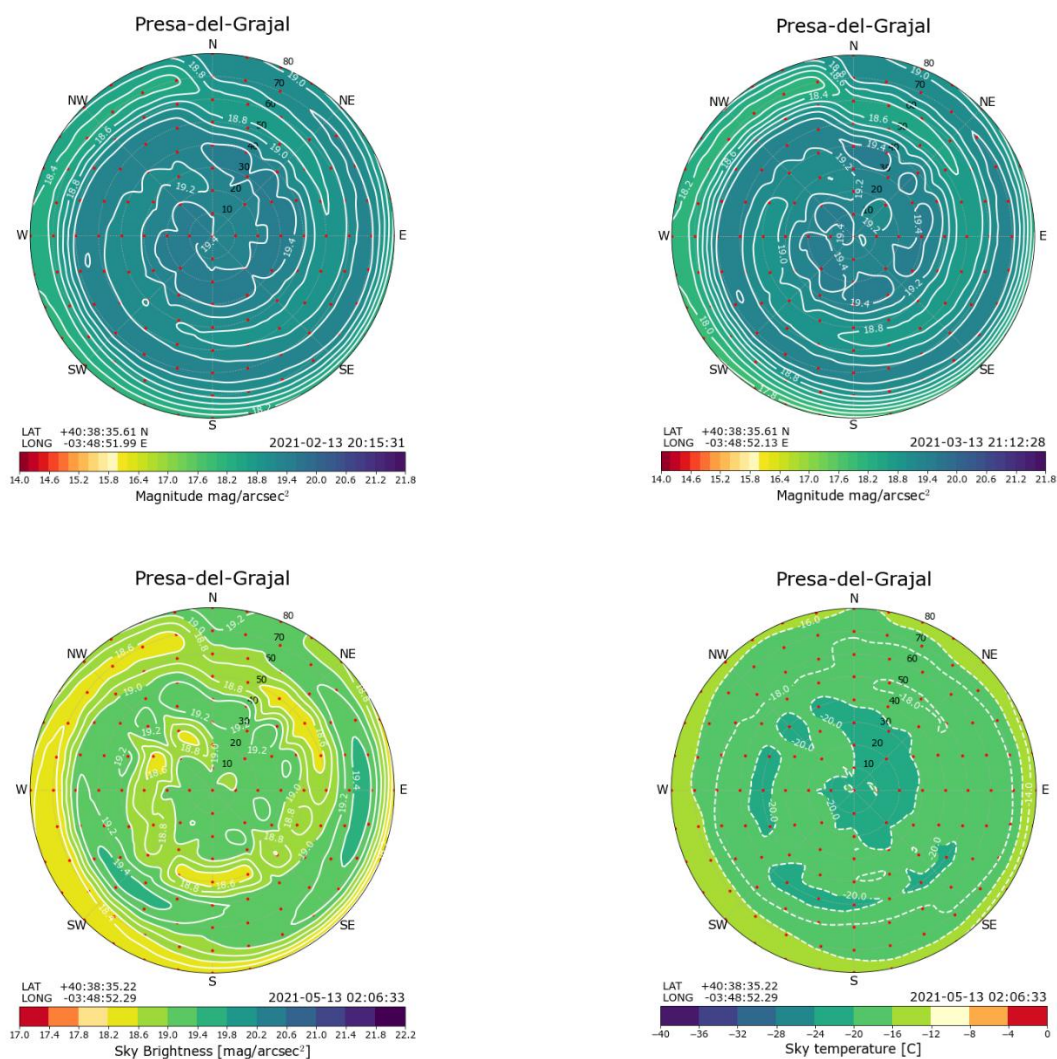


Figura 11 Mapas de febrero y marzo (arriba) y mapas de mayo para luminosidad y temperatura (abajo)

En estos mapas de la tercera zona estudiada se observa un patrón algo peculiar de nuevo, similar a los mapas de la primera zona. En este caso se trata de una región elevada respecto a sus alrededores, otra similitud con la primera zona. El punto escogido para tomar los datos presentaba algunos obstáculos, principalmente árboles y una pequeña colina en la zona oeste. Esto ha generado un efecto similar al ya visto en la primera zona, obstrucciones al fotómetro que reducen las secciones de medida y generan anomalías en los mapas. Las mayores fuentes de contaminación se encuentran a bajas alturas como en los casos anteriores, siendo aquí Colmenar Viejo en el este, Madrid en el sur y el posible reflejo de Colmenar Viejo en la colina para el oeste.

A medida que la altura aumenta, se observa una banda menos luminosa. Es seguramente debida a los obstáculos explicados, ya que después se puede ver otra banda luminosa a una mayor altura. Las fuentes en esta nueva banda luminosa siguen siendo Madrid en el sur y Colmenar Viejo en el este.

A alturas más cercanas al cenit se encuentra una región más despejada, además de varias regiones puntuales. Permite una visión del cielo similar a una mezcla de los casos en las zonas anteriores.

Comparando los tres mapas de luminosidad no se observan diferencias demasiado llamativas, salvo algunas variaciones en la distribución de las bandas a medias alturas y superiores. La región más despejada a alturas cercanas al cenit parece más homogénea en el caso de febrero que en marzo y mayo, en los que se observan algunas regiones puntuales con mayor facilidad.

El mapa de luminosidad de mayo, que se midió en orden inverso y con alguna nube, presenta algunos cambios respecto a los medidos en los otros meses. Estos cambios se perciben principalmente a medias alturas y superiores, donde pueden diferenciarse más zonas puntuales que en los otros dos casos. Estos cambios también se deben a la presencia de alguna nube en esta última medida, demostrando que tienen un efecto negativo que se debe evitar.

Por último, el mapa de temperatura de mayo muestra de nuevo un comportamiento esperable, con regiones más frías según se acercan al cenit. Sin embargo, predomina una zona sobre las demás, dividiendo el mapa en tres partes diferentes. Se pueden distinguir un fino anillo externo más cálido, una extensa zona templada y algunas zonas puntuales más frías en la zona templada. La más grande de estas zonas puntuales más frías se encuentra en el cenit.

5. Conclusiones

Con este trabajo ha sido posible realizar un estudio de la contaminación lumínica y su impacto en diferentes zonas del norte de Madrid.

Se ha comprobado que la ciudad de Madrid es la fuente de contaminación lumínica principal de la región, estando presente en todas las zonas de estudio analizadas. Ya sea en mayor o menor medida, su influencia en el estado del cielo es algo que no se debe pasar por alto.

Otro objetivo logrado con este estudio ha sido la demostración de la influencia que diferentes factores tienen sobre los datos recogidos, capaces de provocar pequeños cambios o importantes anomalías en los resultados. Ejemplos de dichos factores son los obstáculos encontrados en el terreno, las nubes, las fechas de medición o la falta de revisiones necesarias al equipo empleado de forma previa a su uso.

Es fácil concluir que este tipo de contaminación supone un grave problema en el ámbito de la observación astronómica y la preservación del medio ambiente, una de las ideas principales comentadas en la introducción.

Gracias a iniciativas como el proyecto NixNox es más fácil tener una percepción de la situación actual, ser críticos con la información obtenida y concienciarse de los cambios necesarios para poder vivir en un futuro con cielos más limpios y saludables.

6. Bibliografía y recursos

- [1] Light Pollution Effects on Wildlife and Ecosystems: [Light Pollution Effects on Wildlife and Ecosystems | International Dark-Sky Association \(darksky.org\)](#)
- [2] Proyecto NixNox: <https://nixnox.stars4all.eu/>
- [3] Fotómetros TESS: <https://tess.stars4all.eu/products/>
- [4] Agencia Estatal de Meteorología (AEMET): <http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/municipios>
- [5] Google Maps: <https://www.google.es/maps>
- [6] Mapa de Colmenar Viejo medido por Jesús Escribano: <https://nixnox.stars4all.eu/item/colmenar-viejo/>
- [7] J. Zamorano et al. “NixNox procedure to build Night Sky Brightness maps from SQM photometers observations”: https://eprints.ucm.es/id/eprint/26982/1/LICA_NixNoxProcedure.pdf
- [8] J. Zamorano et al. “NIXNOX project: Sites in Spain where citizens can enjoy dark starry skies”: https://www.sea-astronomia.es/sites/default/files/archivos/IAU2012_NIXNOX_Zamorano.pdf