

XXI AÍNSA Y BOLTAÑA *** JORNADAS DE ASTRONOMÍA

Contaminación lumínica, un poco de ciencia

J. Zamorano (@cefalopodo)



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID



HUESCA
LA MAGIA



AÍNSA Y BOLTAÑA

18 - 20
NOVIEMBRE 2022



Estudios sobre la contaminación lumínica en el Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica (UCM)

En esta charla hablaremos de:

- La importancia de la noche oscura (Perdemos la oscuridad)
- La Contaminación Lumínica no sólo afecta a la astronomía
- **Algunos resultados científicos**
- Reflexiones finales (si da tiempo)



@cefalopodo

STARS4ALL



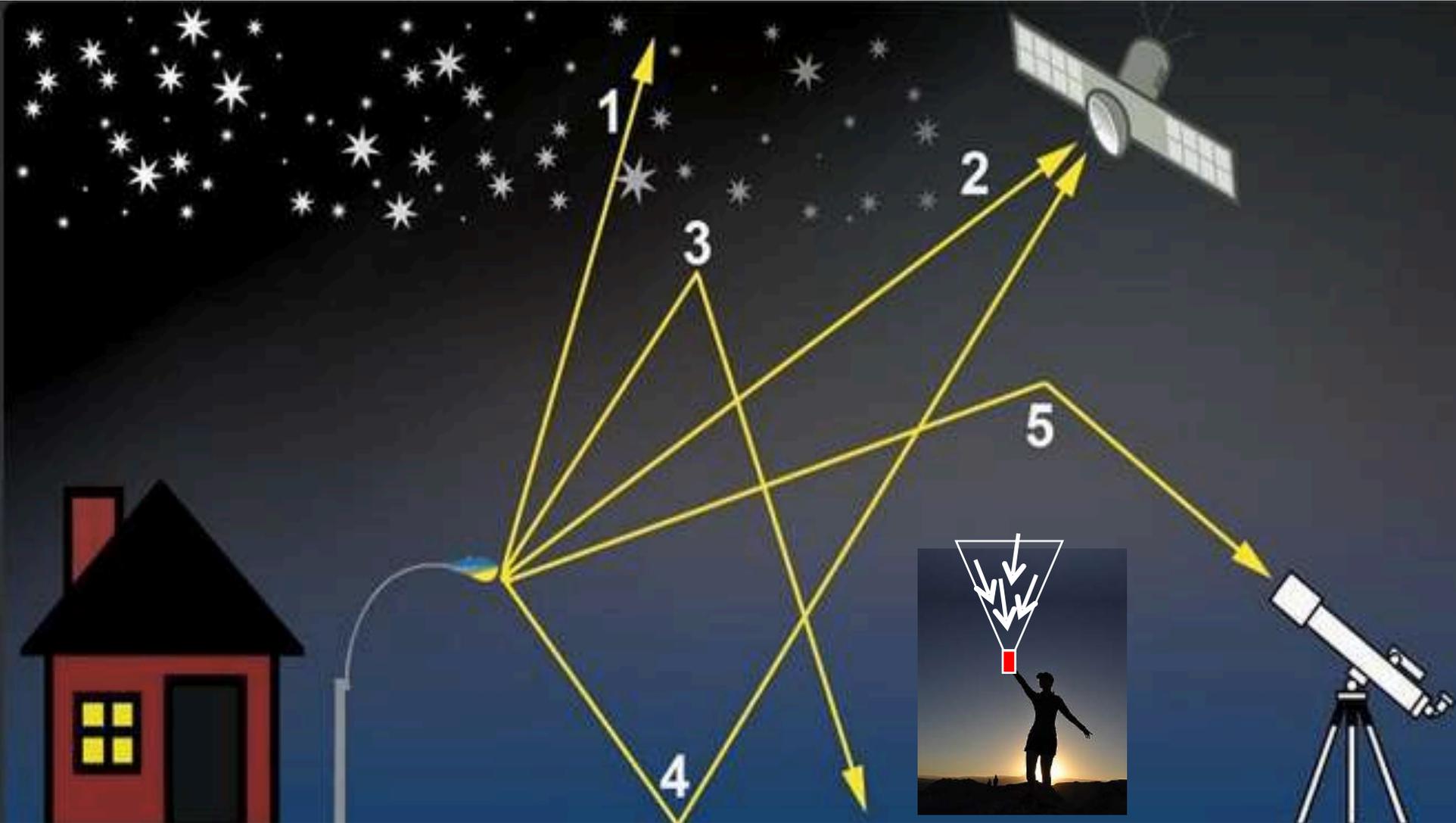


Cielos oscuros y estrellados



Brillo del cielo nocturno

La luz que enviamos hacia arriba se dispersa en la atmósfera



Uno de los efectos de la contaminación lumínica es el abrigantamiento del cielo nocturno. Midiendo ese brillo podemos estimar la contaminación lumínica.

La contaminación lumínica desde el espacio



Ibiza, parte de la península ibérica y norte de África desde la ISS



La contaminación lumínica impide el disfrute del cielo estrellado

Muchos animales son más activos de noche y necesitan la oscuridad natural en sus habitats



Travis Longcore^{1,2,3} and Catherine Rich¹ with illustrations by Leigha DelBusso²

World Migratory Bird Day

Dim the Lights for Birds at Night

14 May and 8 October 2022



World Migratory Bird Day



Bird illustrations by: Omar Custodio A. Tabache
Background photo credit: Shutterstock



www.worldmigratorybirdday.org

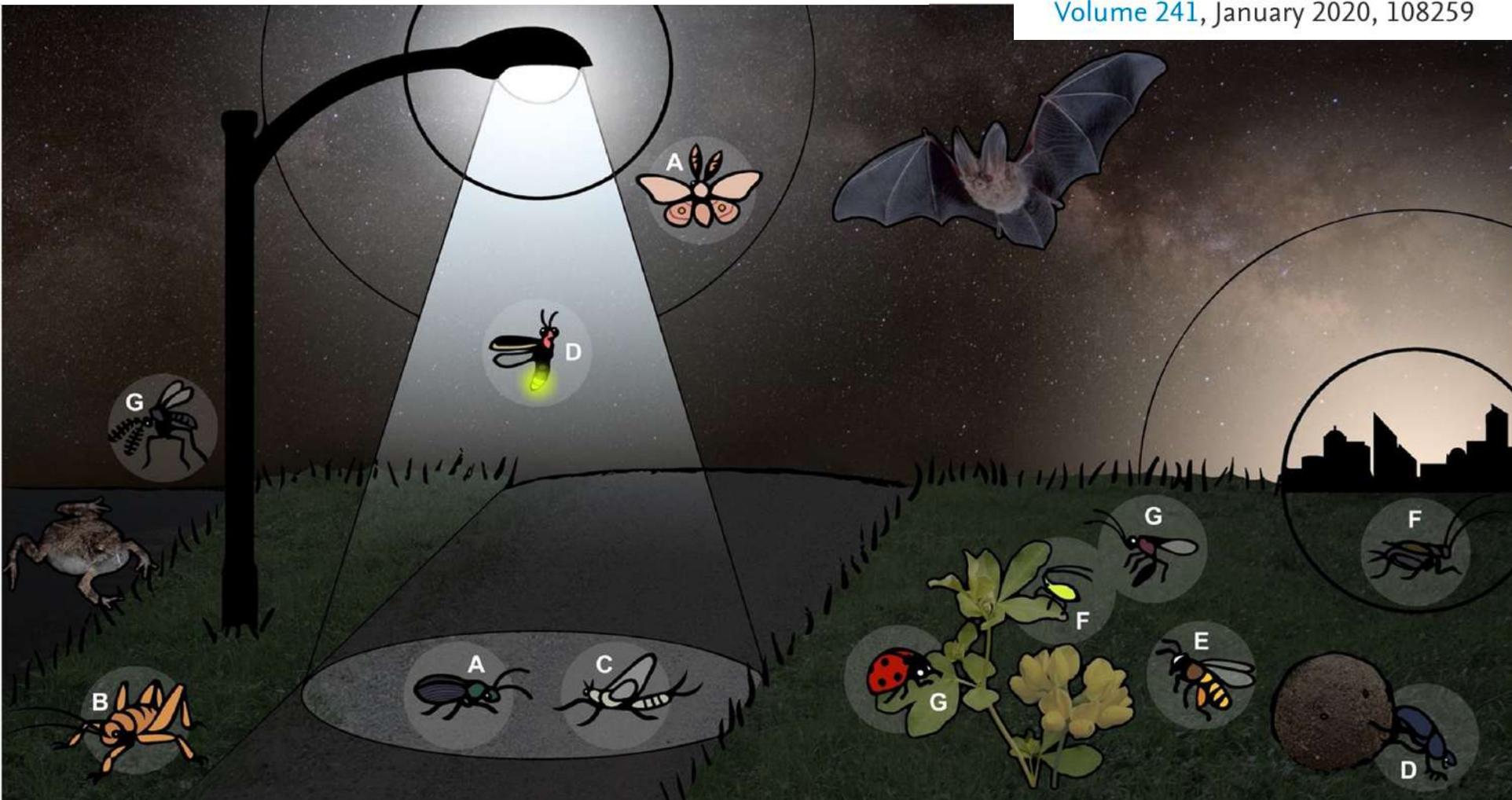


Contaminación Lumínica amenaza a los insectos

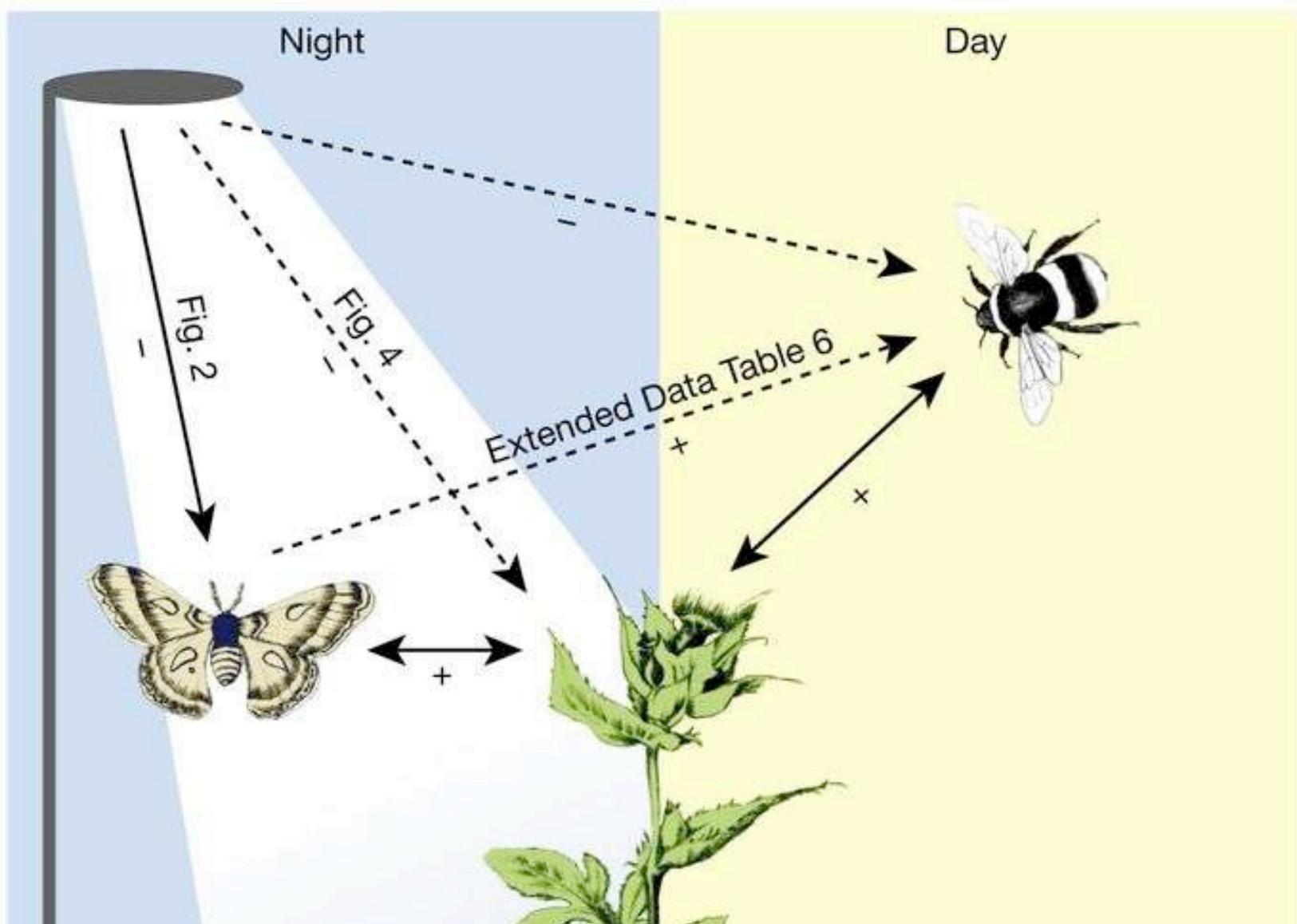
Light pollution is a driver of insect declines

Biological Conservation

Volume 241, January 2020, 108259



ALAN propicia la disminución de insectos porque afecta su movilidad, su alimentación, reproducción y depredación.



Artificial light at night as a new threat to pollination

Nature **548**, 206–209 (10 August 2017)

doi:10.1038/nature23288

Eva Knop , Leana Zoller, Remo Ryser, Christopher Gerpe, Maurin Hörler & Colin Fontaine



Cambio de sodio HPS a LEDS blancos



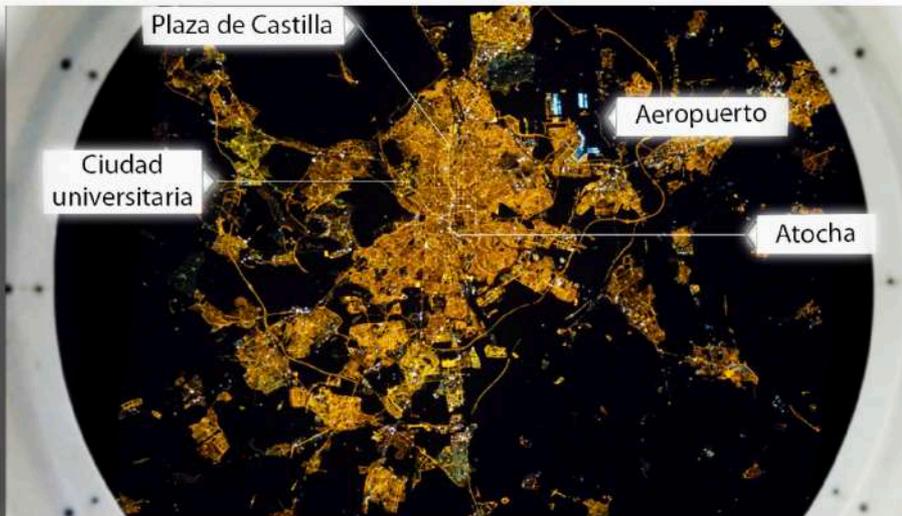
SODIO

LED

Diferencias de iluminación entre Sodio y LED blancos

<https://citiesatnight.org>

Objetivo: Crear un mapa nocturno del mundo usando las fotografías que hacen los astronautas en la ISS



Estas son las únicas imágenes disponibles desde satélite en alta resolución con información de color

Evolución del alumbrado de Madrid desde la ISS

Imagen cortesía del Earth Science and Remote Sensing Unit, NASA Johnson Space Center
Georeferenciación y tratamiento por Alejandro Sánchez de Miguel
IAA-CSIC

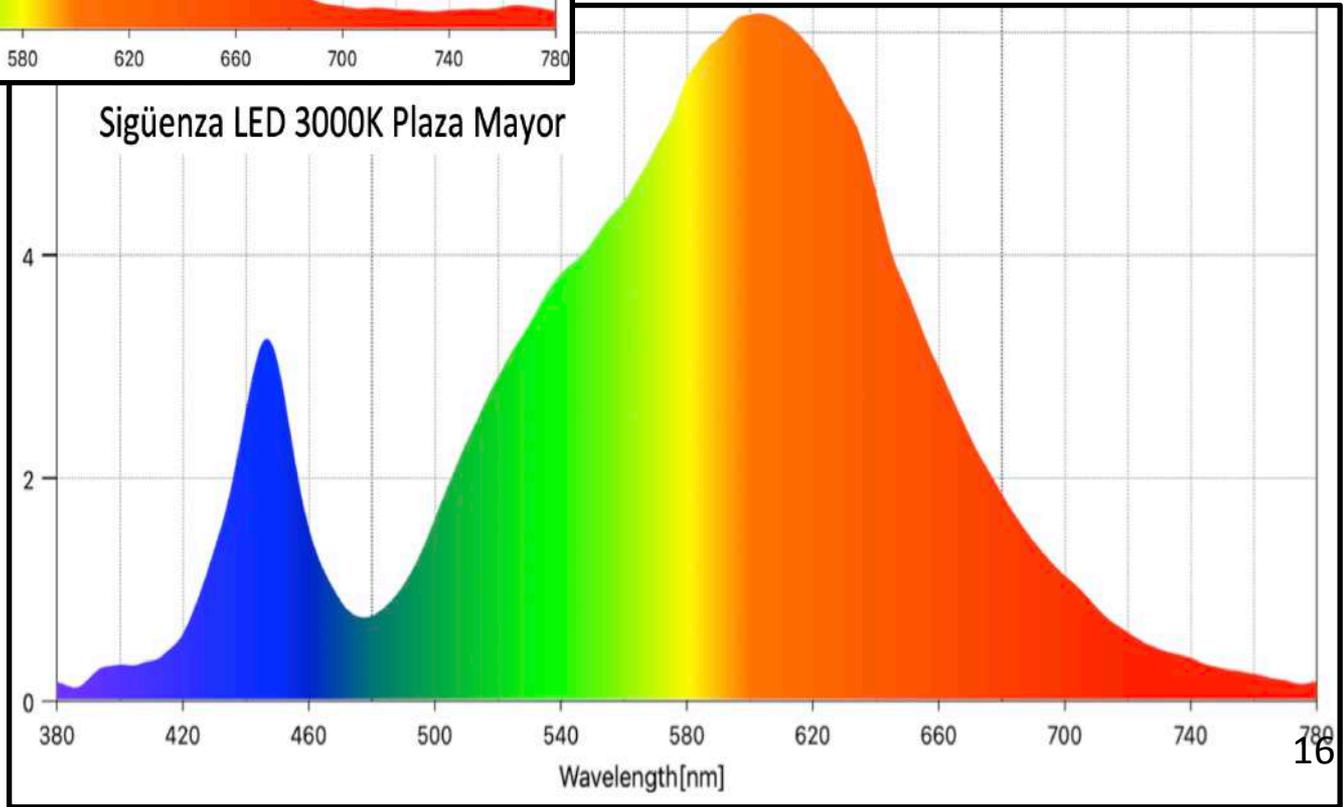
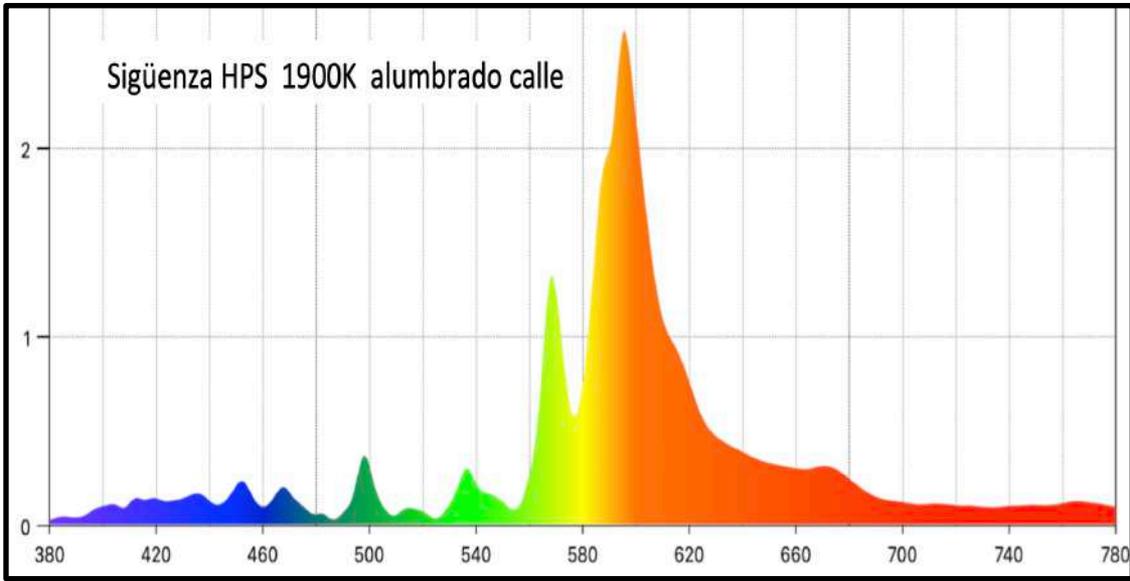


Evolución del alumbrado de Madrid desde la ISS

Imagen cortesía del Earth Science and Remote Sensing Unit, NASA Johnson Space Center
Georeferenciación y tratamiento por Alejandro Sánchez de Miguel,
IAA-CSIC



Espectro de las farolas del alumbrado público



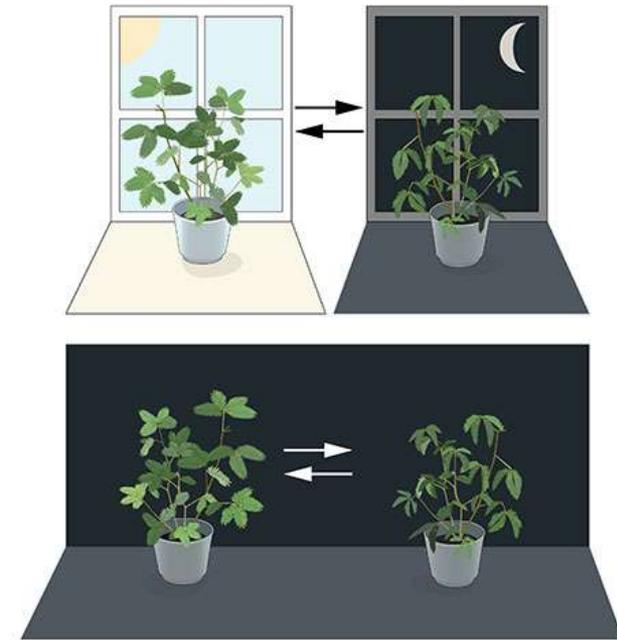
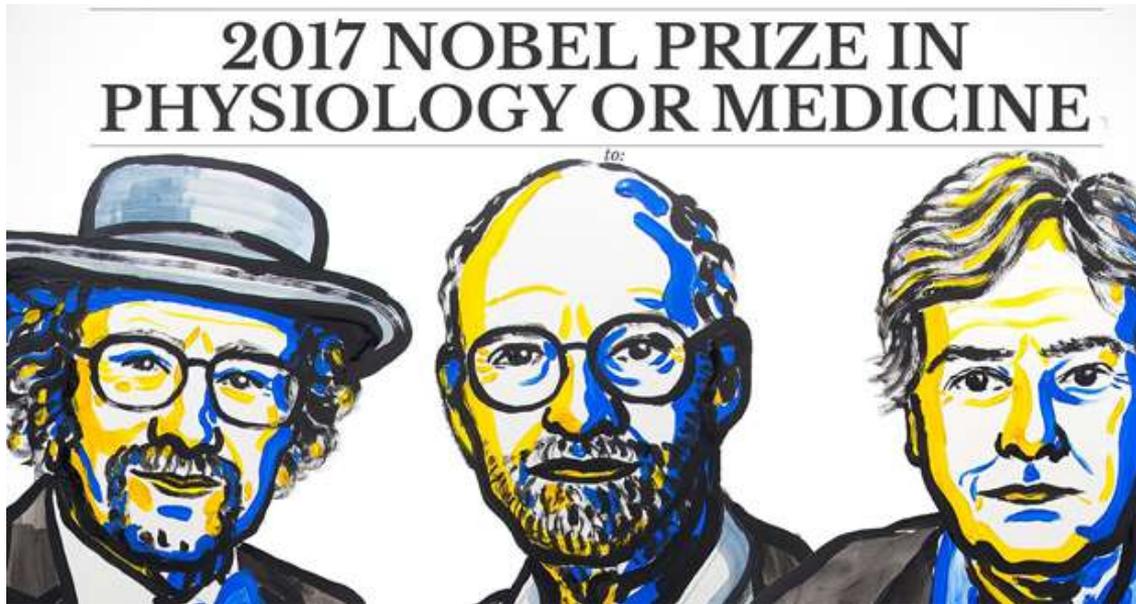
Atracción de los insectos nocturnos por la luz azul



Macgregor CJ, Pocock MJO, Fox R, Evans DM.

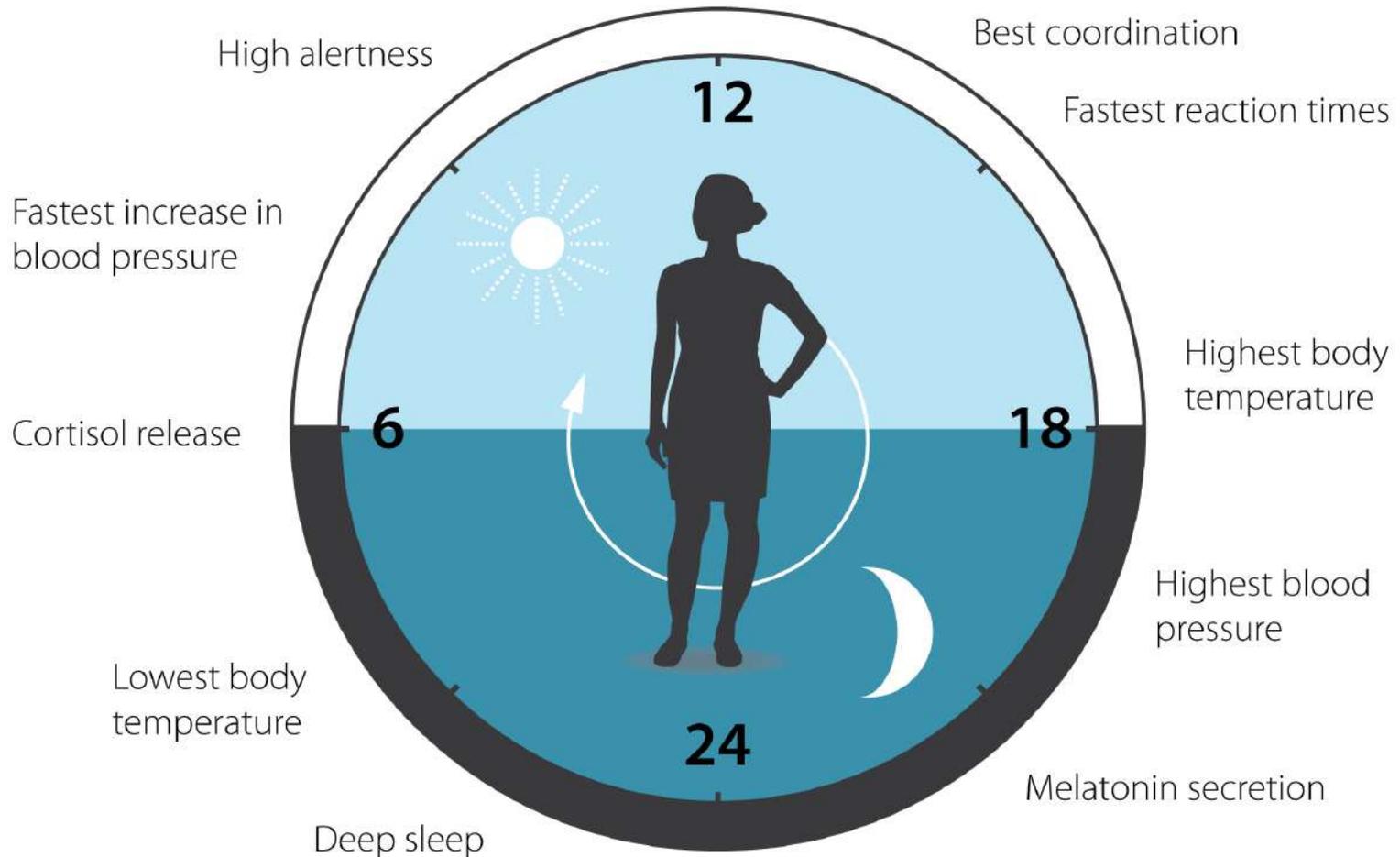
Effects of street lighting technologies on the success and quality of pollination in a nocturnally pollinated plant. *Ecosphere*. 2019;10: e02550

Efectos en la salud humana: Cronobiología

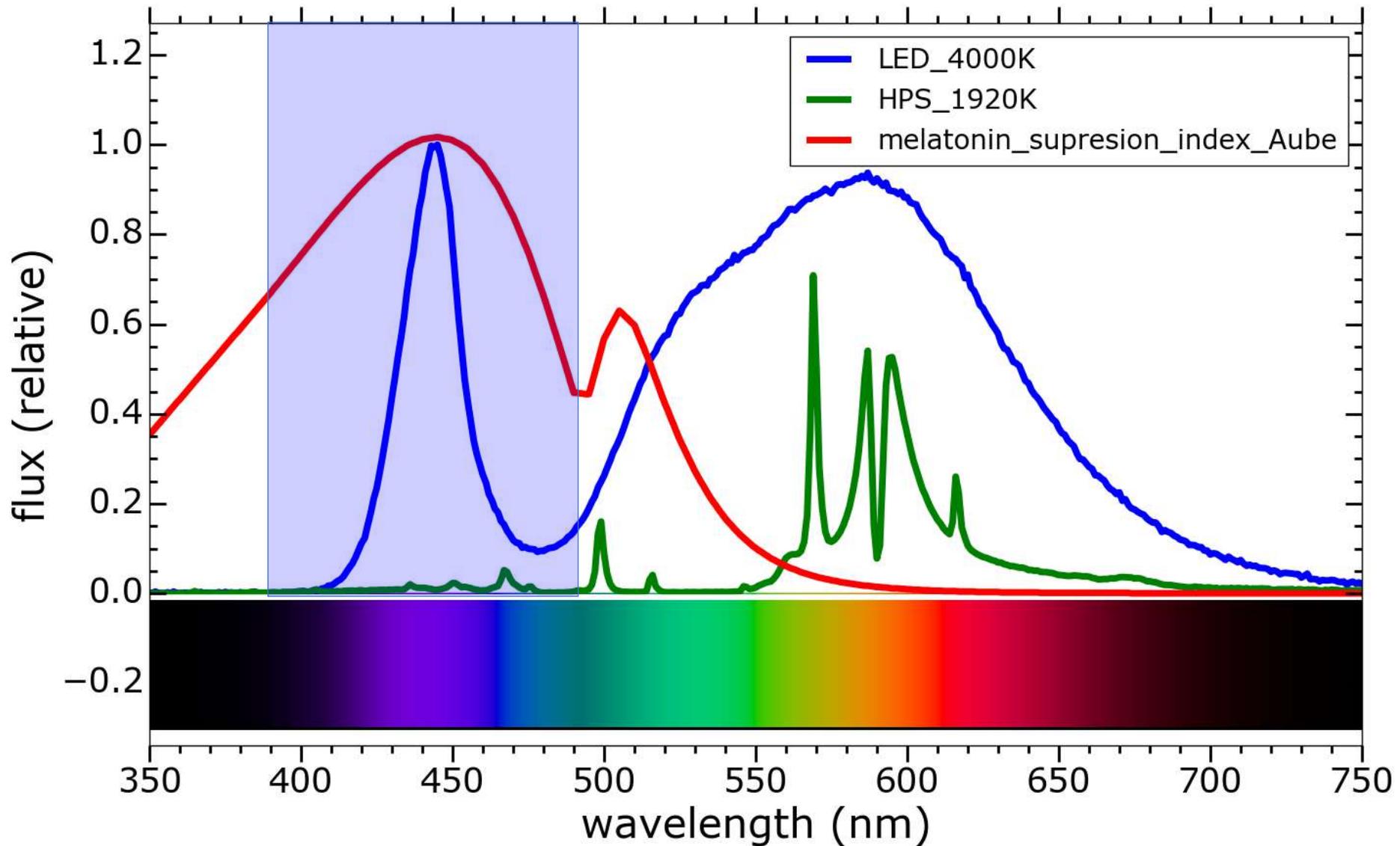


- Organismos vivos en la Tierra adaptados al ciclo del día y la noche
- **Necesitamos luz durante el día y oscuridad por la noche.**
- Nuestro reloj interno: el ritmo circadiano.
- Cronodisrupción si se rompe el ciclo.

Ritmo circadiano



Índice de supresión de la melatonina y LEDs blancos



La componente azul de los LEDs y el índice de la supresión de la melatonina están en la misma región del espectro.

CIENCIA: Artificial Light at Night (ALAN)

Estudios sobre los efectos de la luz artificial de noche <http://www.artificiallightatnight.org/>

- Cómo se produce la luz (tecnología, industria, diseño de iluminación)
- Dónde se encuentra (monitorización y teledetección)
- ¿Cuales son sus efectos en la salud y en el medio ambiente? (medicina) (ecología)
- ¿Cómo regular la iluminación nocturna para aprovechar sus beneficios evitando sus impactos negativos? (normativa)



STARS4ALL

H2020-SWAFS-2019 CITIZEN SCIENCE



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement number 824603.



Red Española de Estudios sobre Contaminación Lumínica



AYA2011-15808-E
AYA2015-71542-REDT.

Reúne a los diferentes grupos de investigación sobre contaminación lumínica que trabajan en España (y Portugal) para facilitar la comunicación con vistas a potenciar la colaboración entre ellos



Algunos artículos científicos

- Impacto de los LEDs blancos.
- Modelando la contaminación lumínica.
- Fotones sin fronteras.
- Medida de luz difusa desde el espacio.
- Caracterización de aerosoles durante la noche.
- Brillo y color del cielo nocturno de Madrid.
- Modelado del brillo natural del cielo.
- El laboratorio de Añora.
- Fotometría RGB.

Environmental risks from artificial nighttime lighting widespread and increasing across Europe

Sánchez de Miguel, A., Bennie, J., Rosenfeld, E., Dzurjak, S., Gaston, K.J. (2022)



Imagen ISS038e014887 (10-12-2013).

Bélgica muestra el color naranja de las lámparas de sodio (LPS) con las carreteras iluminadas
Países Bajos, Francia y Reino Unido iluminadas por lámparas de sodio de alta presión (HPS), más amarillas.
Alemania presenta iluminación más azulada debido a fluorescentes y lámparas de vapor de mercurio.

Environmental risks from artificial nighttime lighting widespread and increasing across Europe

Sánchez de Miguel, A., Bennie, J., Rosenfeld, E., Dzurjak, S., Gaston, K.J. (2022)

Milán 2012



Milán 2015



Madrid y Corredor del Henares desde ISS (2022)



Samantha Cristoforetti
@AstroSamantha 26

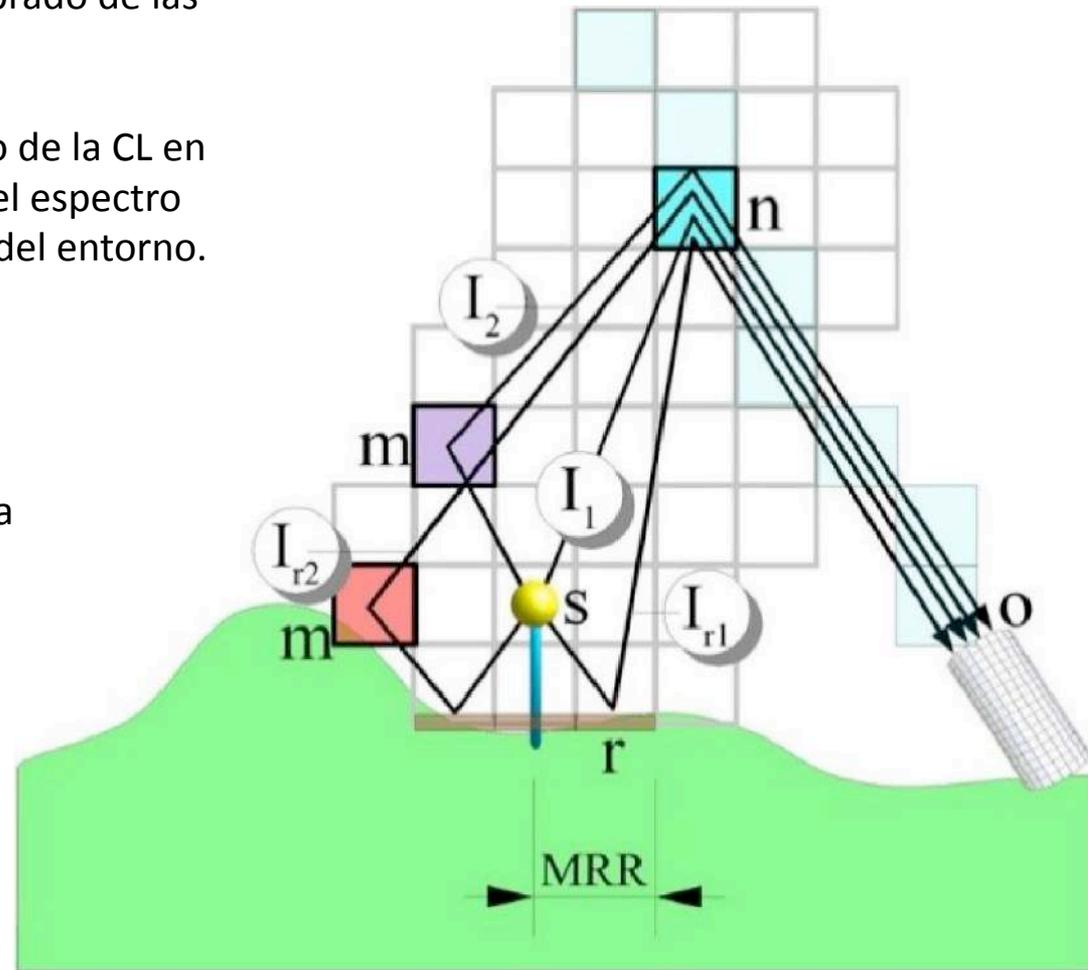
Modelando la contaminación lumínica

Los modelos

- intentan explicar los cambios que observamos cuando se realizan modificaciones en los planes de alumbrado de las grandes ciudades
- deberían predecir cómo cambiaría el impacto de la CL en un cierto lugar si modificamos la intensidad o el espectro de los focos contaminantes en cualquier sitio del entorno.

ILLUMINA

- Modelo de transferencia radiativa que simula la propagación de la luz artificial nocturna.
- Calcula la dispersiones de 1er y segundo orden por los aerosoles de la atmósfera, las absorciones y las reflexiones en el suelo.
- Predice la radiancia del cielo nocturno visto desde tierra o desde el espacio.

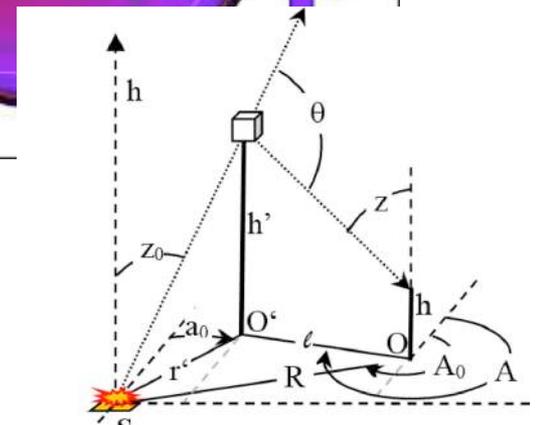
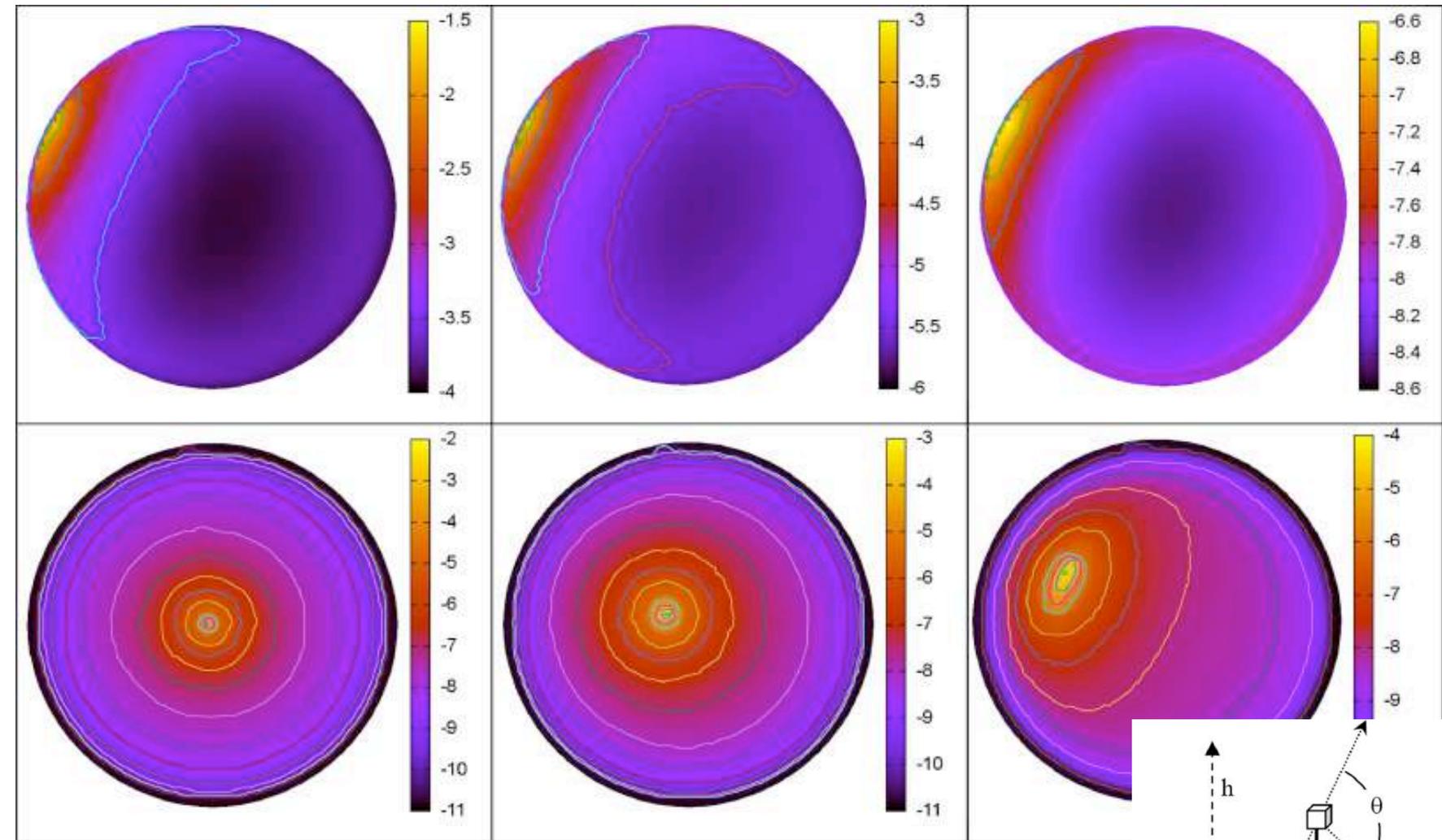


M. Aubé, L. Franchomme-Fossé, P. Robert-Staehler, V. Houle

Light pollution modelling and detection in a heterogeneous environment: toward a night-time aerosol optical depth retrieval method

Atmospheric and environmental remote sensing data processing and utilization: numerical atmospheric prediction and environmental monitoring, 5890, International Society for Optics and Photonics (2005), p. 589012

Multiple scattering contribution to the diffuse light of an night sky: A model which embraces all orders of scattering” Miroslav Kocifaj (2018), JQSRT Volume 206, Pages 260-272



Modelos de radiancia del cielo causada por una fuente de luz situada a 3, 15 y 81 km de distancia visto desde el suelo (arriba) y desde el satélite (abajo)

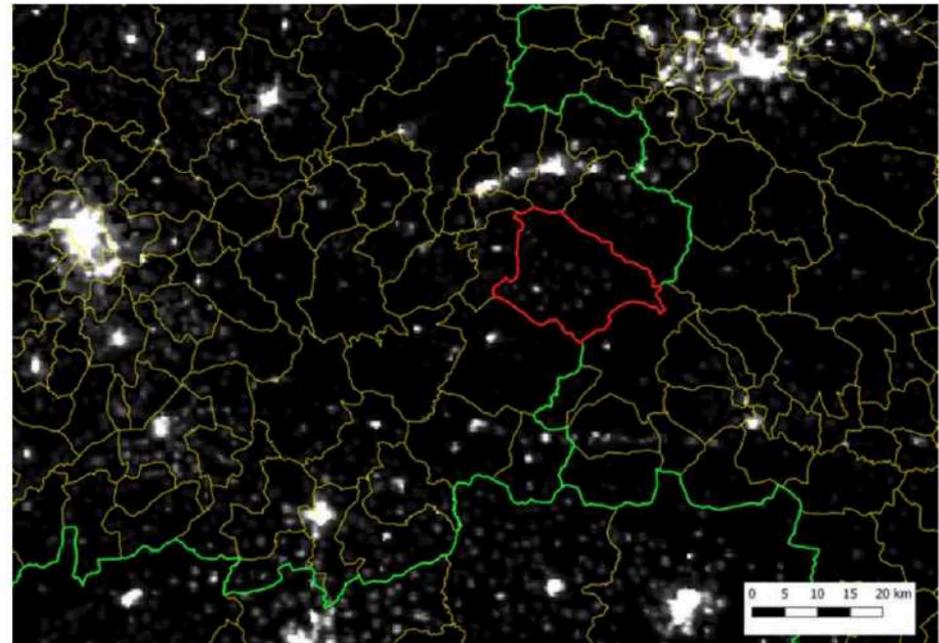
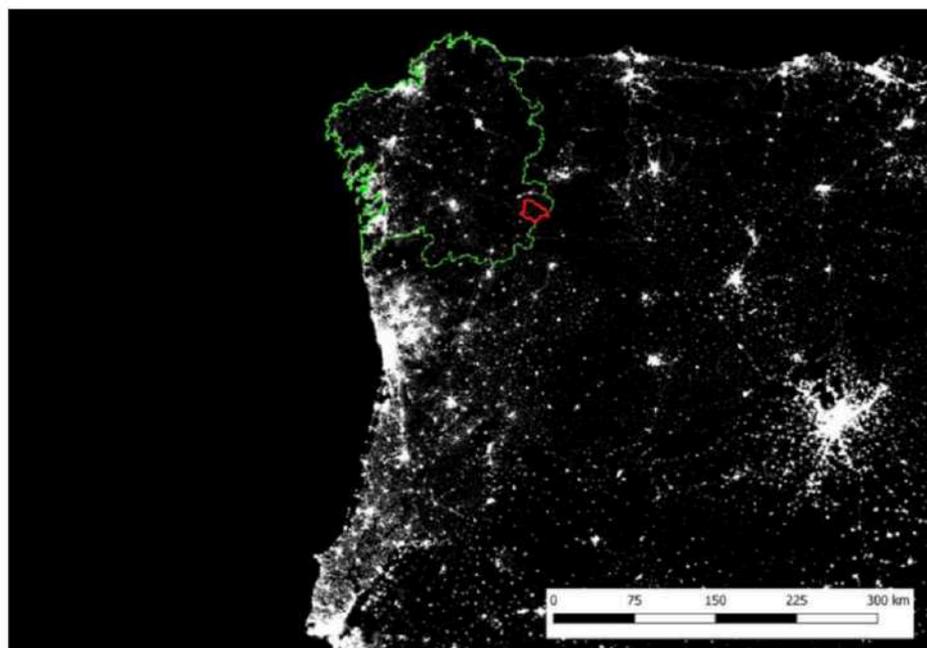
$\lambda = 450 \text{ nm}$, AOD $\tau_{a,\lambda} = 0.23$. Rayleigh and aerosol scattering.
ojo: falso color y escalas muy diferentes

Photons without borders: quantifying light pollution transfer between territories

IJSL
International Journal of Sustainable Lighting

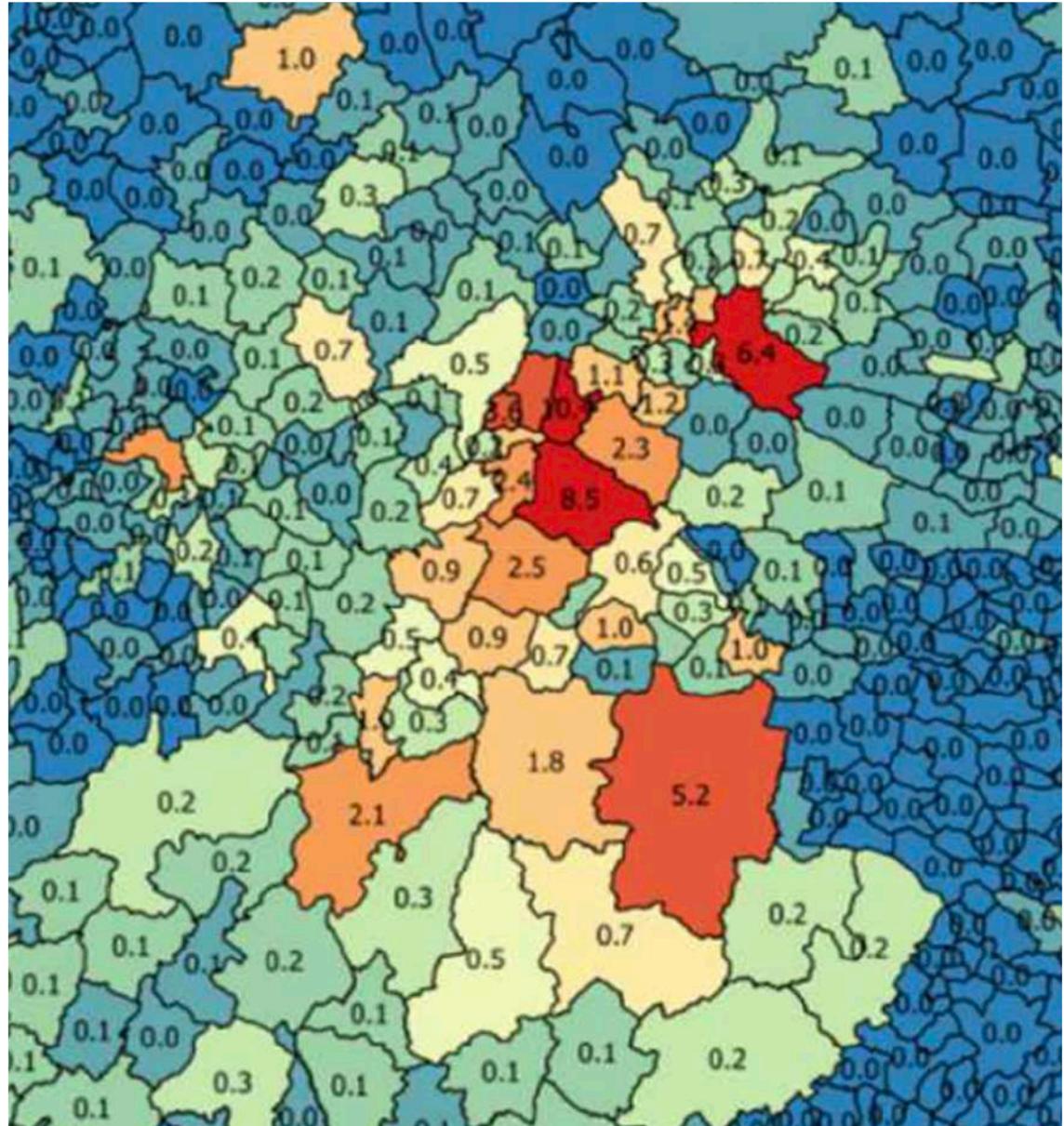
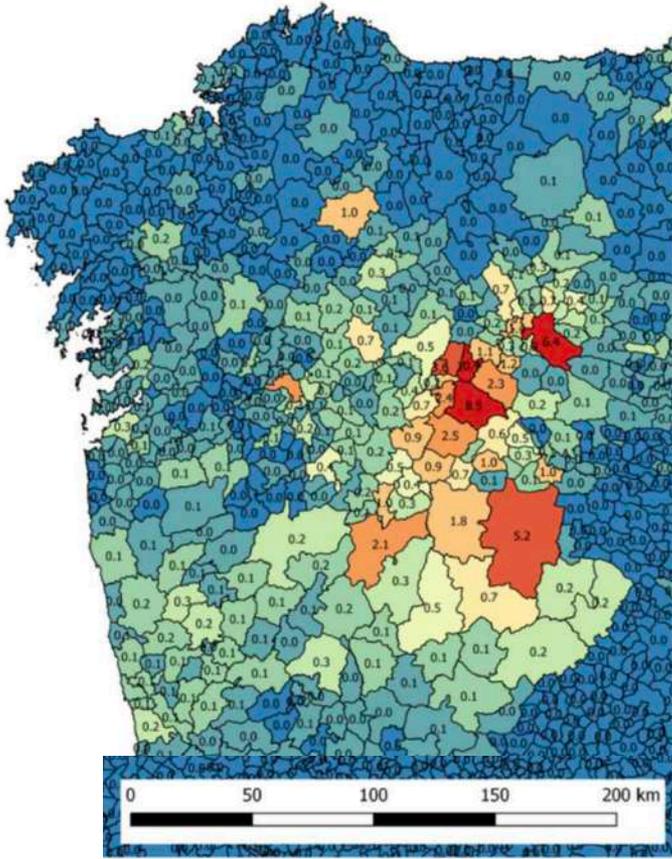
S. Bará and R.C. Lima/International Journal of Sustainable Lighting IJSL (2018) 51-61

- La contaminación lumínica en un lugar depende de la cantidad, intensidad, color y distancia de multitud de fuentes de luz artificial.
- Para mitigar la CL debemos conocer cuales son estas fuentes y cómo contribuyen para abordar el problema.
- Los fotones ópticos pueden viajar grandes distancias hasta ser dispersados y redirigidos hacia el suelo
- Los focos de contaminación a gran distancia pueden ser contribuyentes



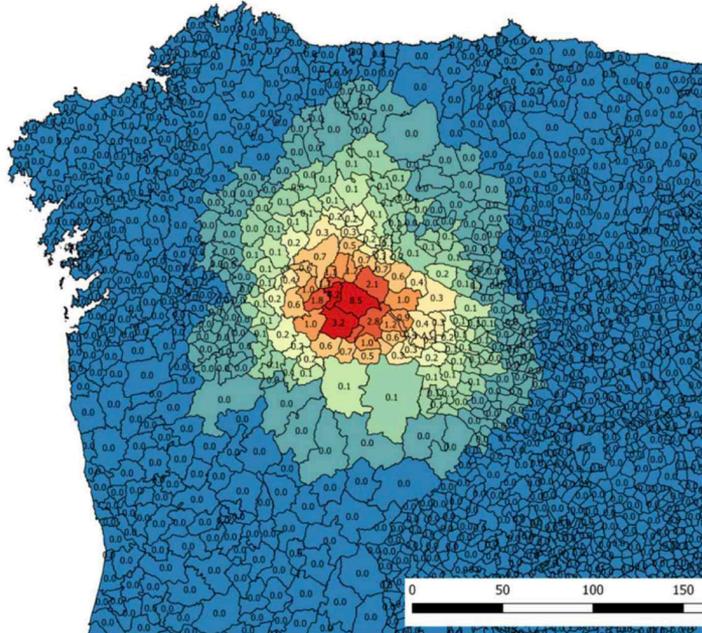
Fotones sin fronteras

¿Quién se está cargando mi cielo?

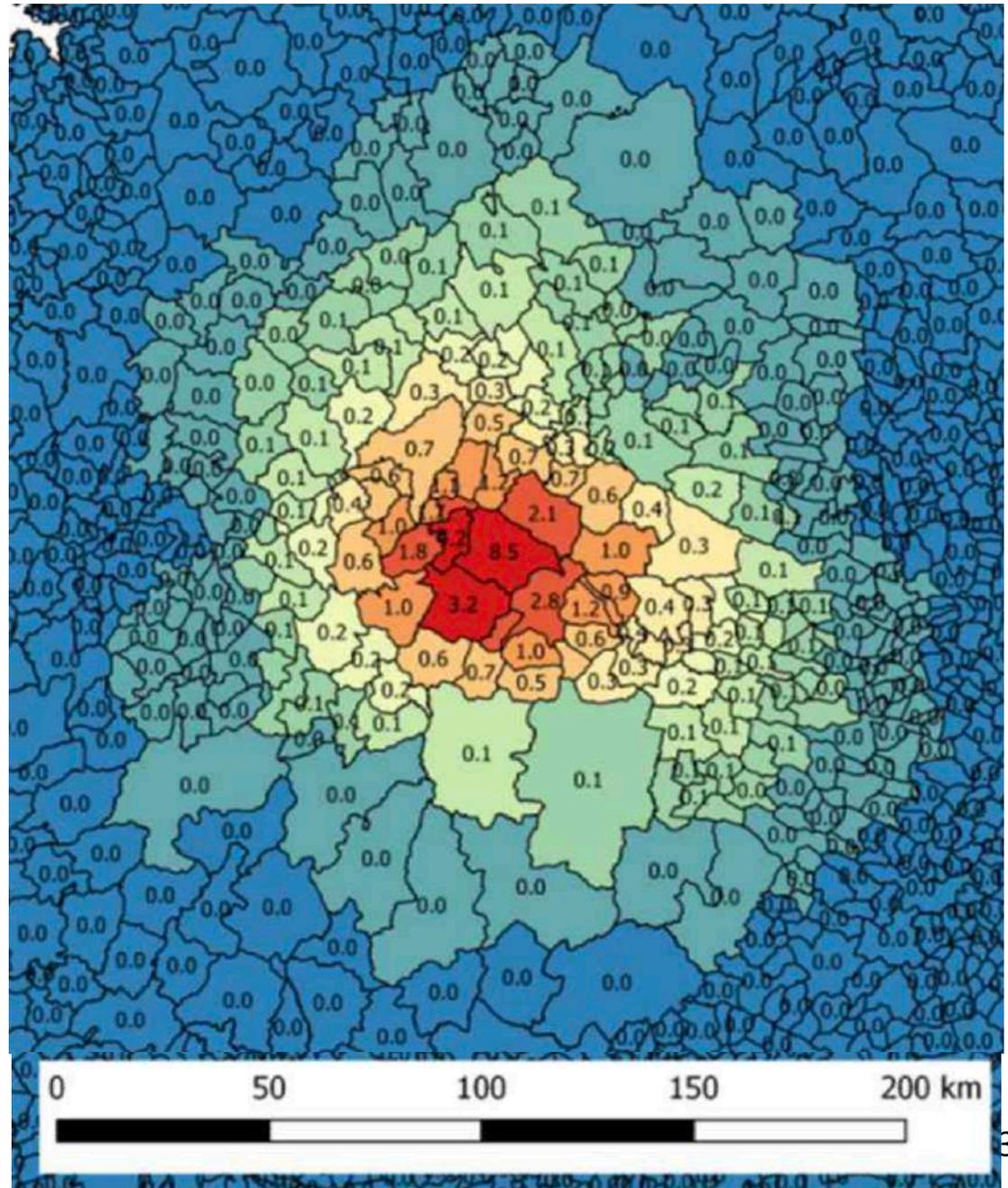


Principales contribuyentes a la contaminación lumínica de A Veiga

Fotones sin fronteras



¿Cómo estoy fastidiando al vecino?



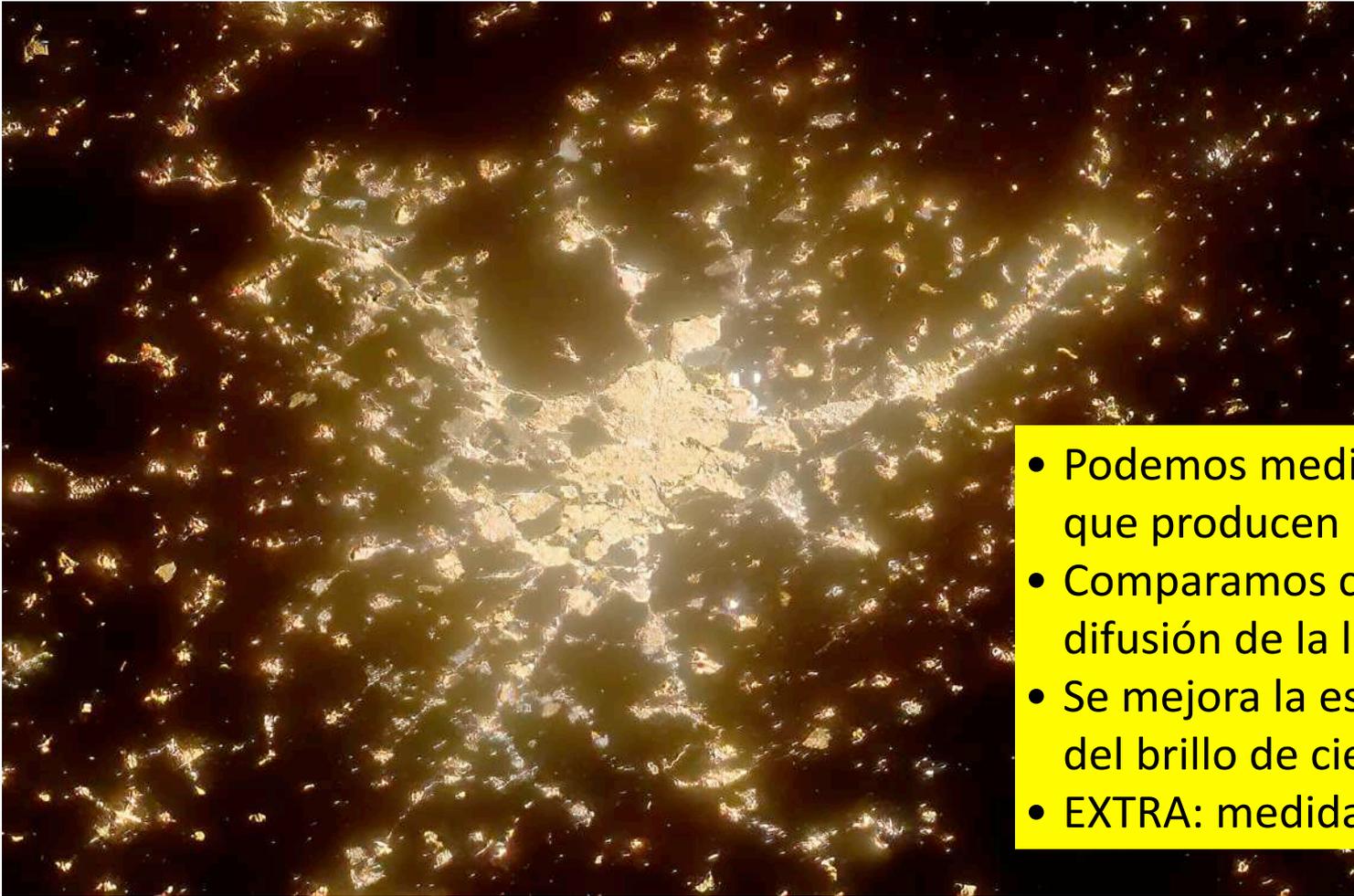
Contribución relativa de A Veiga a la contaminación lumínica de los municipios de alrededor

The nature of the diffuse light near cities detected in nighttime satellite imagery

Scientific Reports 10, Article number: 7829 (2020)

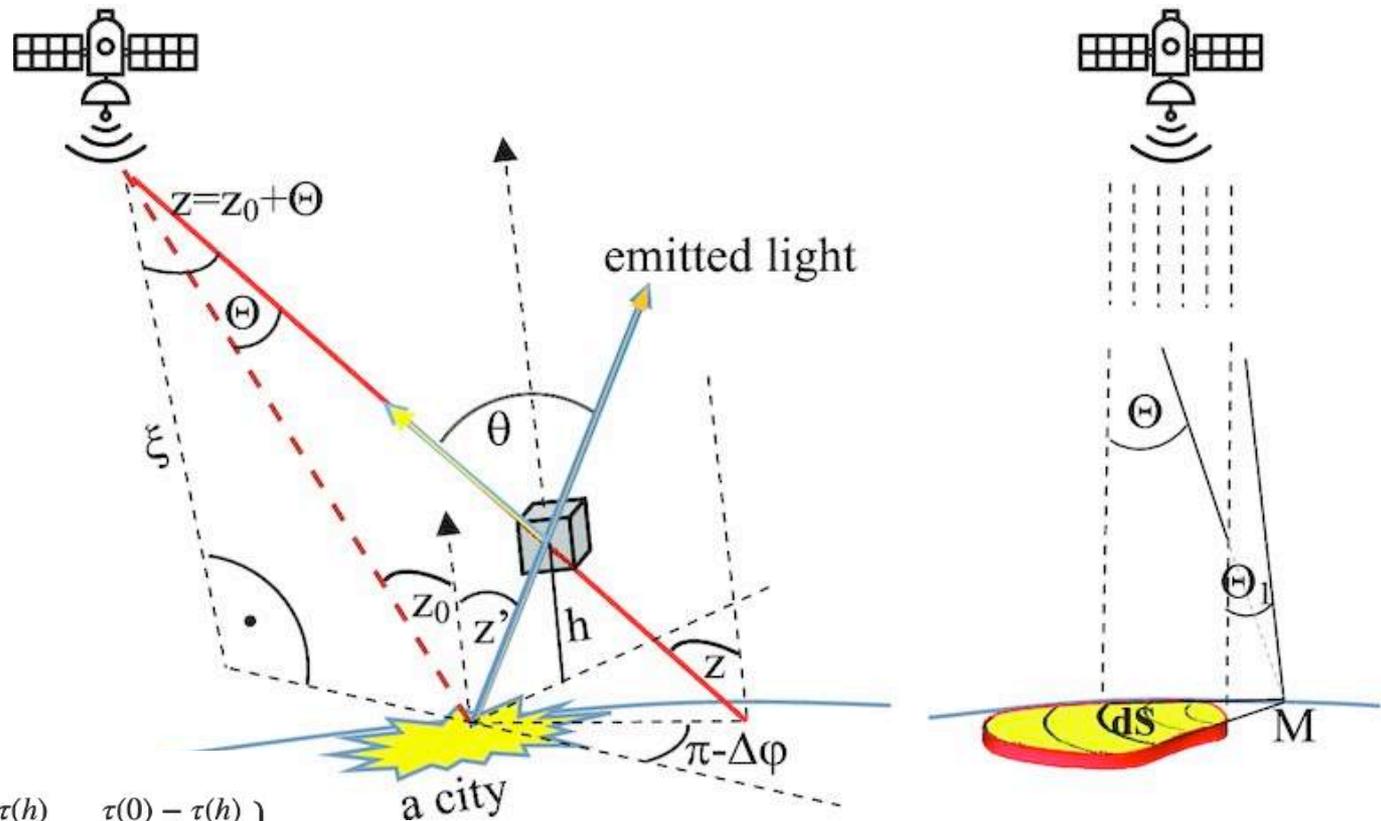
Alejandro Sánchez de Miguel, Christopher C. M. Kyba, Jaime Zamorano, Jesús Gallego, and Kevin J. Gaston.

La luz difusa detectada desde los satélites es contaminación lumínica dispersada por la atmósfera.

- 
- A satellite image of Earth at night, showing a dense network of city lights across the continents. The lights are concentrated in urban areas, with a prominent glow over North America and Europe. The background is dark, representing the unlit parts of the planet and the atmosphere.
- Podemos medir el halo luminoso que producen las ciudades.
 - Comparamos con los modelos de difusión de la luz en la atmósfera.
 - Se mejora la estimación del brillo de cielo nocturno.
 - EXTRA: medida de aerosoles.

Aerosol characterization using satellite remote sensing of light pollution sources at night

Miroslav Kocifaj ✉, Salvador Bará ✉ *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, Volume 495, Issue 1, June 2020,

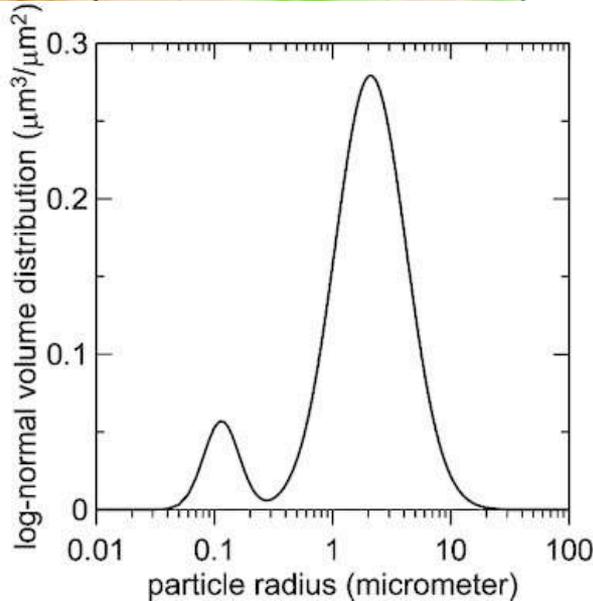
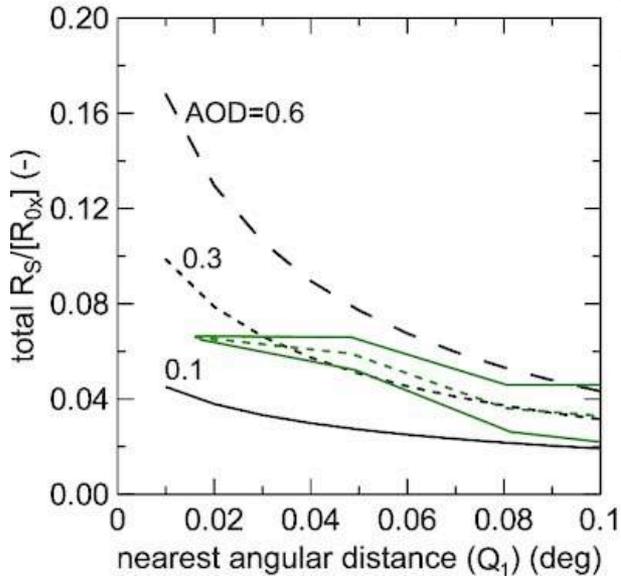
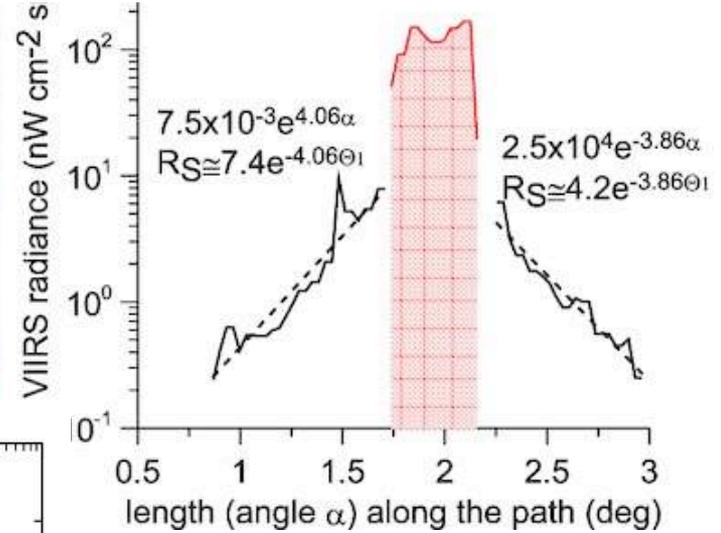
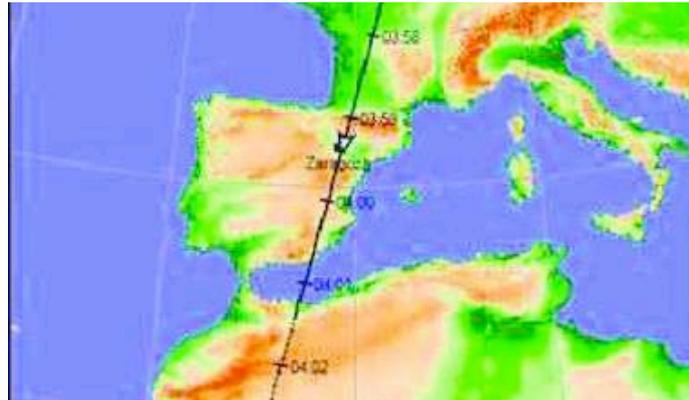


$$R_S(z) = \frac{1}{\cos z} \int_{h=0}^{\xi} dI_0(z') \exp \left\{ -\frac{\tau(h)}{\cos z} - \frac{\tau(0) - \tau(h)}{\cos z'} \right\} \\ \times \tilde{\omega} k_{\text{ext}}(h) \frac{\cos^2 z'}{h^2} \frac{p(\theta)}{4\pi} dh,$$

Las medidas de radiancia de la luz artificial nocturna dispersada mediante observaciones desde satélite permiten caracterizar los aerosoles.

Aerosol characterization using satellite remote sensing of light pollution sources at night 📡

Miroslav Kocifaj ✉, Salvador Bará ✉



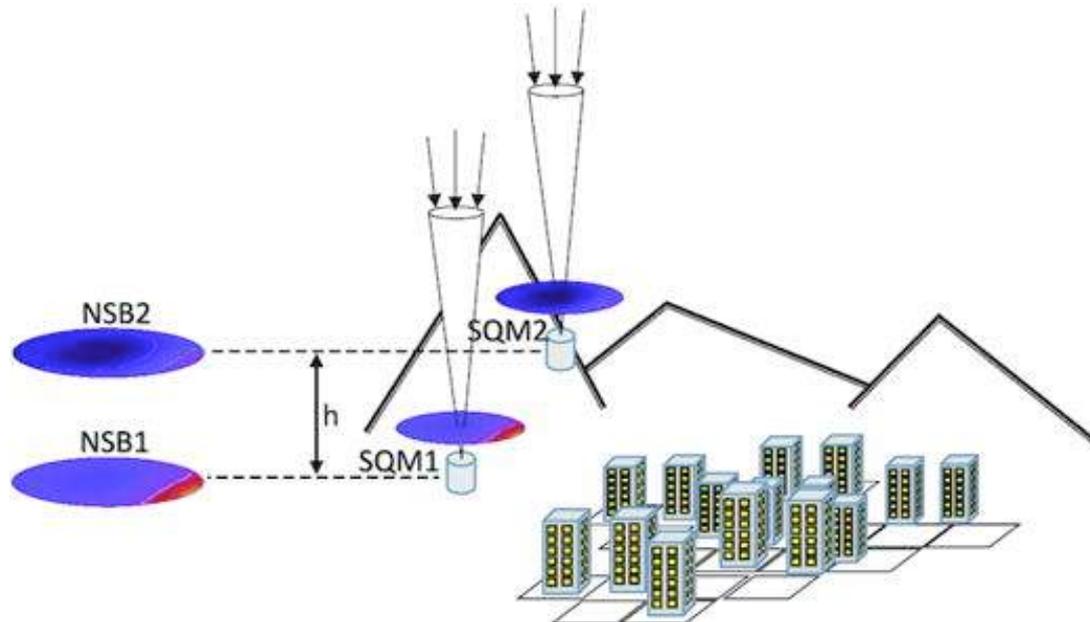
La comparación de las medidas del satélite VIIRS con el modelo permiten determinar las características de los aerosoles sobre Zaragoza en ese momento.

Night-time monitoring of the aerosol content of the lower atmosphere by differential photometry of the anthropogenic skyglow

Miroslav Kocifaj , Salvador Bará

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, Volume 500, Issue 1, January 2021, Pages L47–L51, <https://doi.org/10.1093/mnrasl/slaa181>

La cantidad y tipo de aerosoles en la parte baja de la atmósfera es un parámetro clave en los modelos de difusión de la contaminación lumínica.

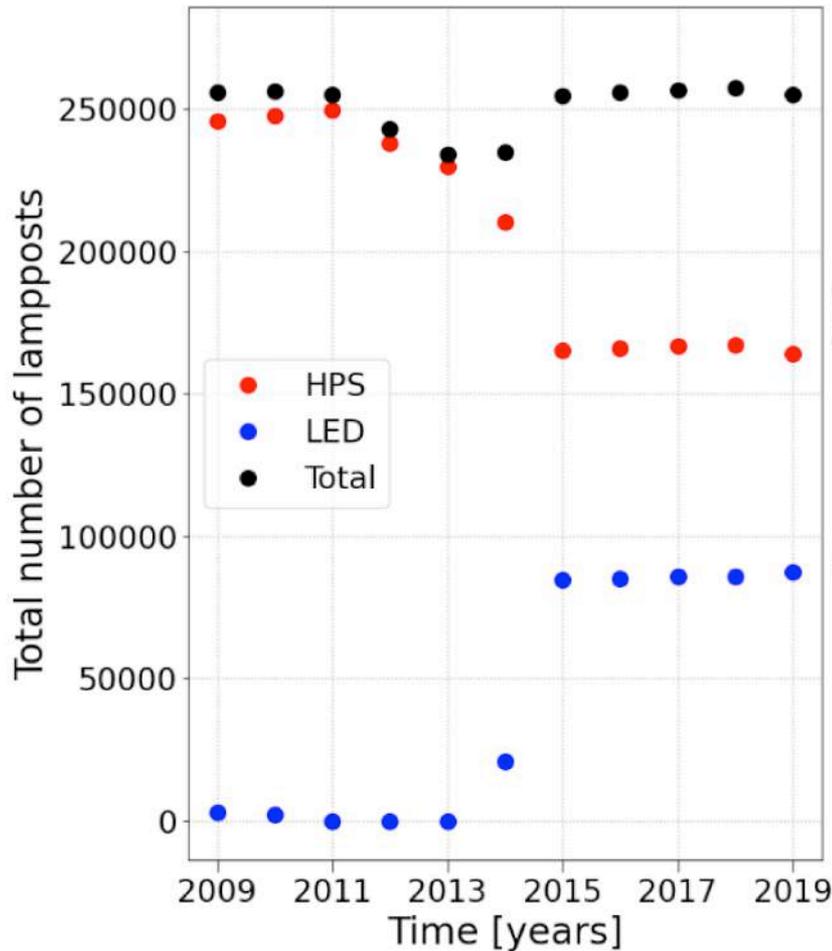


Las medidas simultáneas de brillo del cielo en el cénit con dos fotómetros a diferente altitud permiten caracterizar los aerosoles de esa capa.

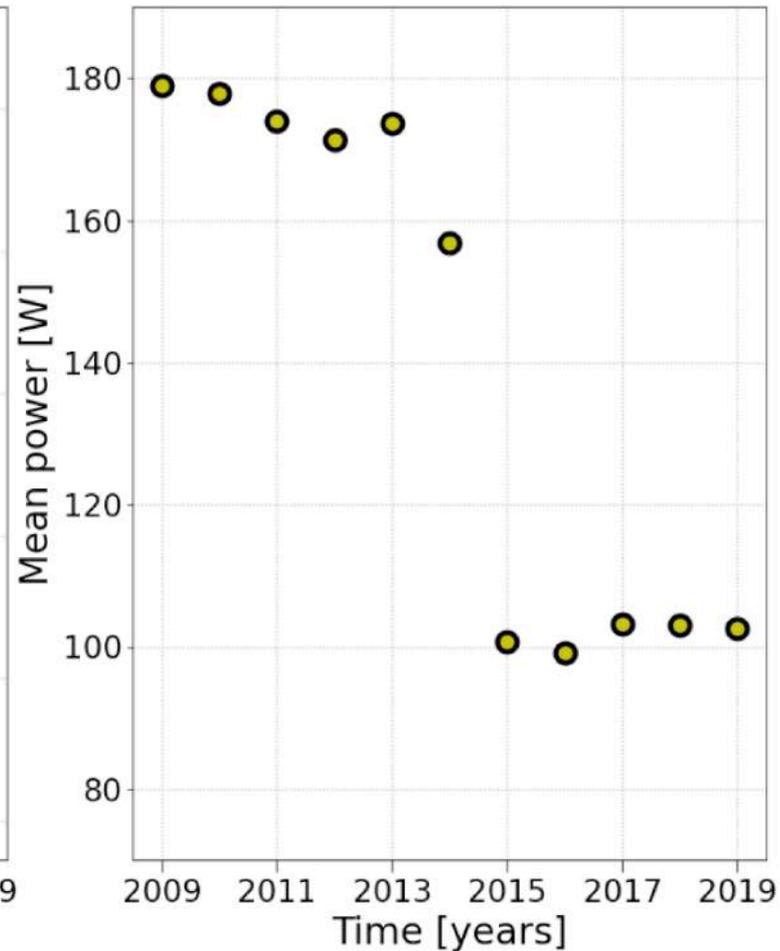
Evolution of Brightness and Color of the Night Sky in Madrid

by  José Robles ^{1,*} ,  Jaime Zamorano ^{1,2}  ,  Sergio Pascual ^{1,2}  ,
 Alejandro Sánchez de Miguel ³  ,  Jesús Gallego ^{1,2}   and  Kevin J. Gaston ³  

Remote Sens. **2021**, *13*(8), 1511; <https://doi.org/10.3390/rs13081511>

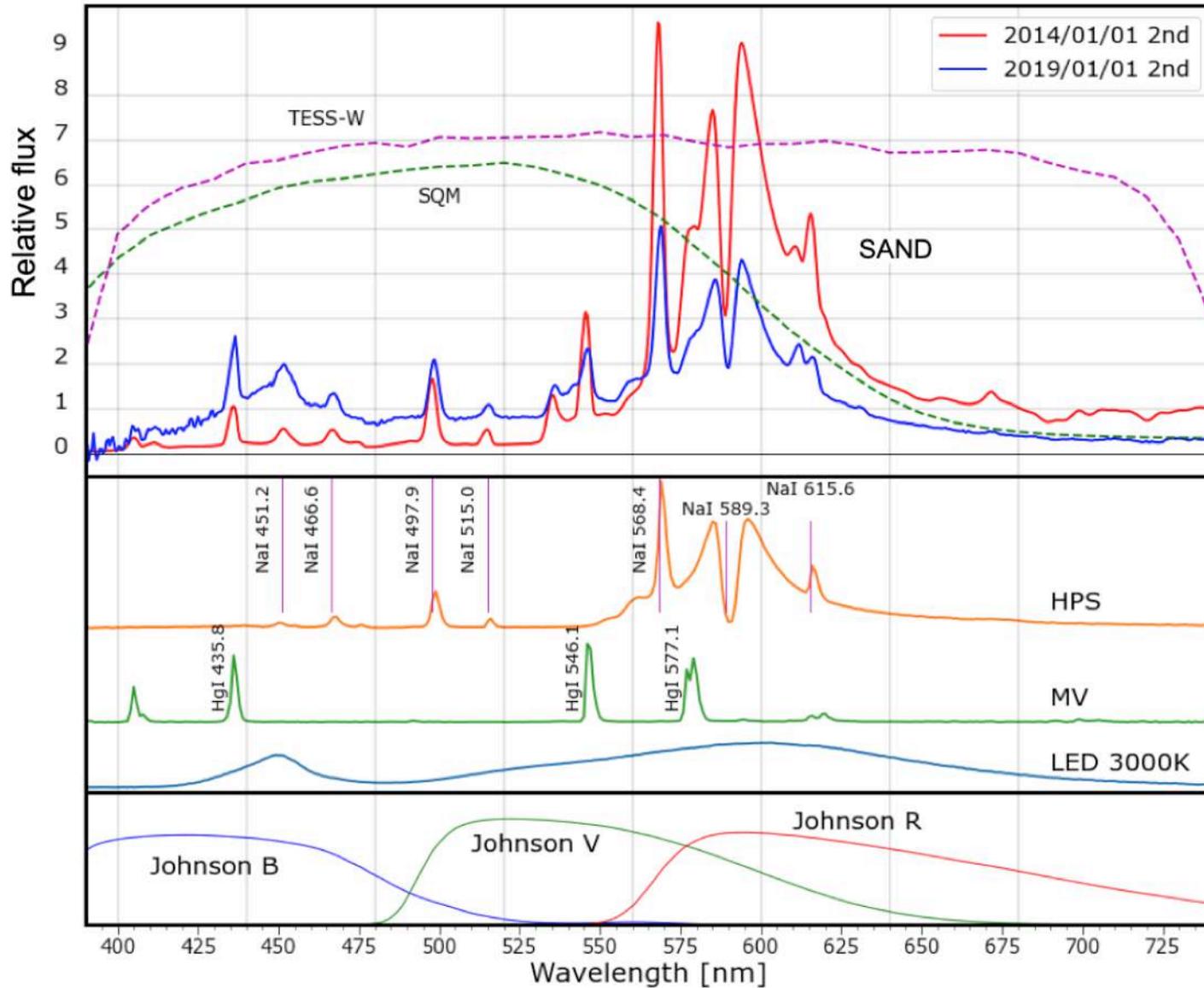


Evolución del número de luminarias por tipo



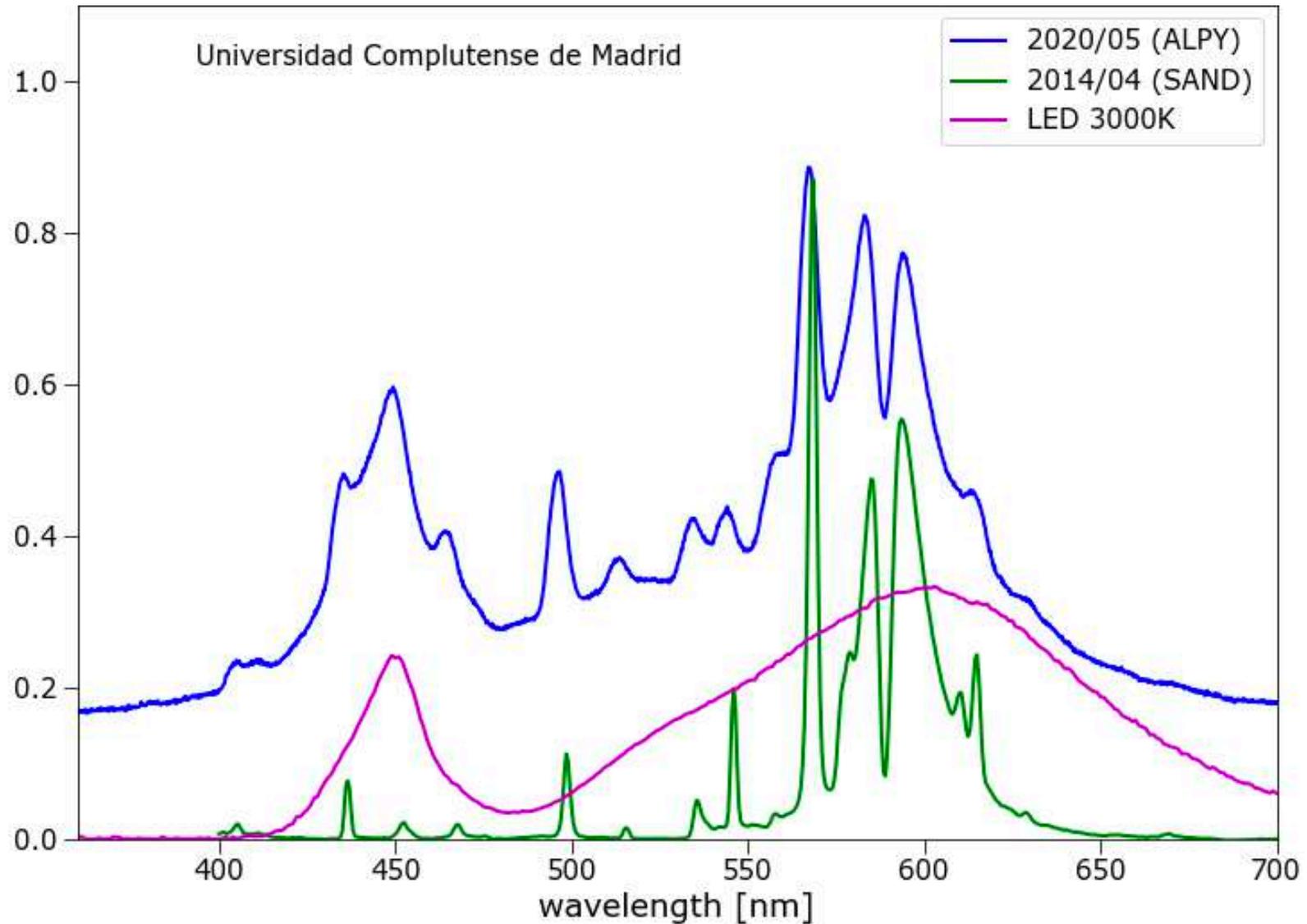
Potencia de las lámparas en las farolas de sodio HPS

Evolución del brillo y color del cielo de Madrid



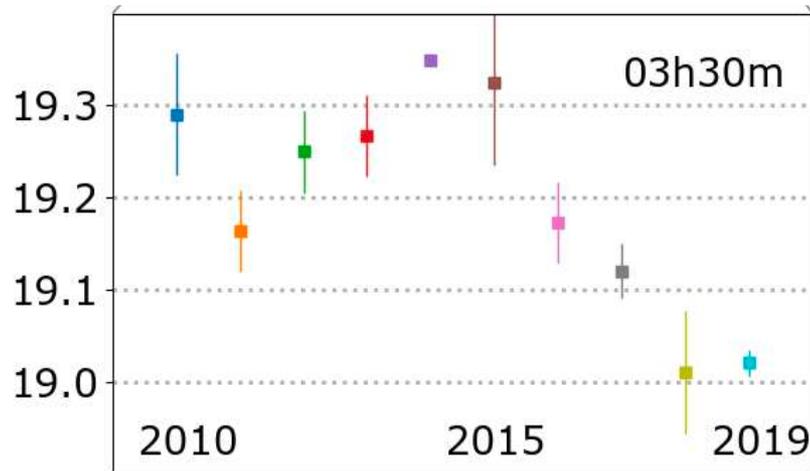
Espectro del cielo nocturno de Madrid

Evolución del brillo y color del cielo de Madrid

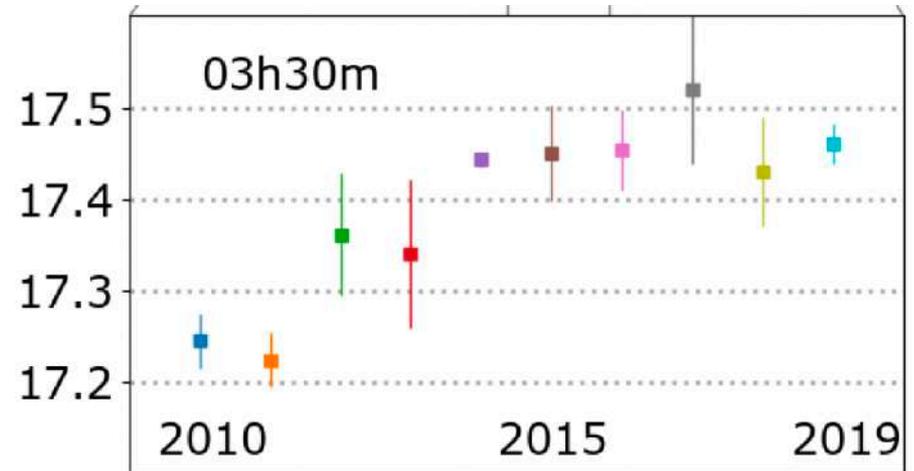


Espectro del cielo nocturno de Madrid

Evolución del brillo y color del cielo de Madrid



Banda Johnson B



Banda Johnson R

Remodelación del alumbrado de Madrid

- Ciudad de Madrid (2015)
HPS (250W) a HPS (150W) → Cielos más oscuros
- Corona de ciudades satélite (2015-2020)
HPS a LED (3000K) → Cielos más brillantes y azulados

A multiband map of the natural night sky brightness including *Gaia* and *Hipparcos* integrated starlight

[Get access >](#)

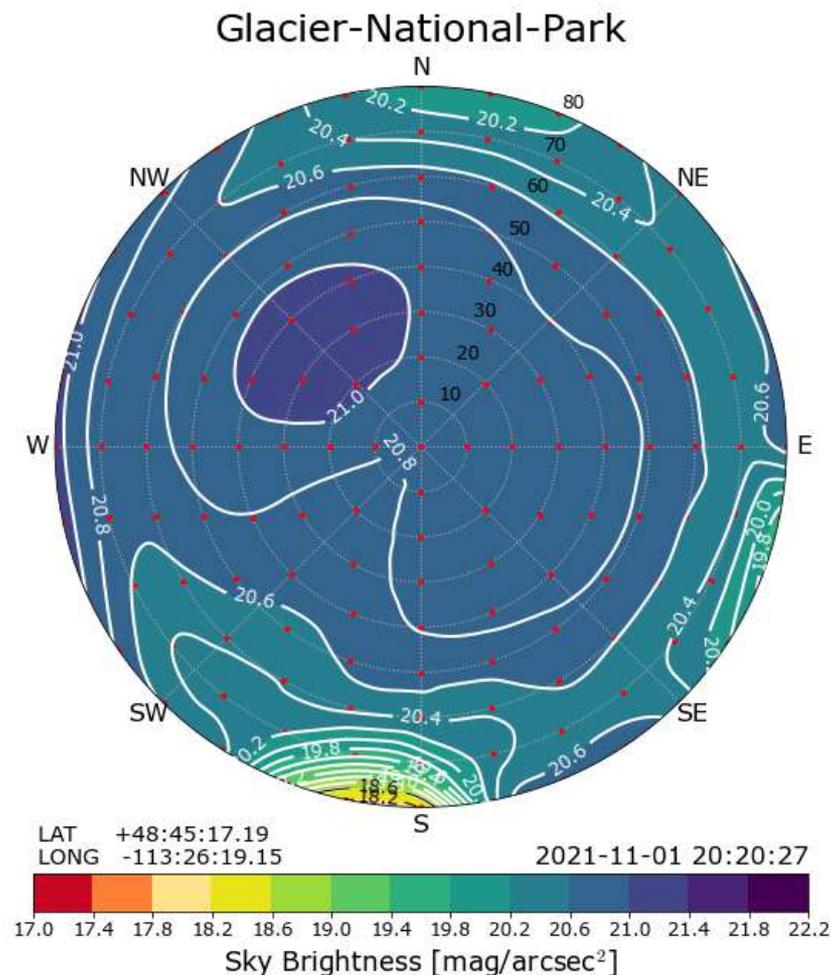
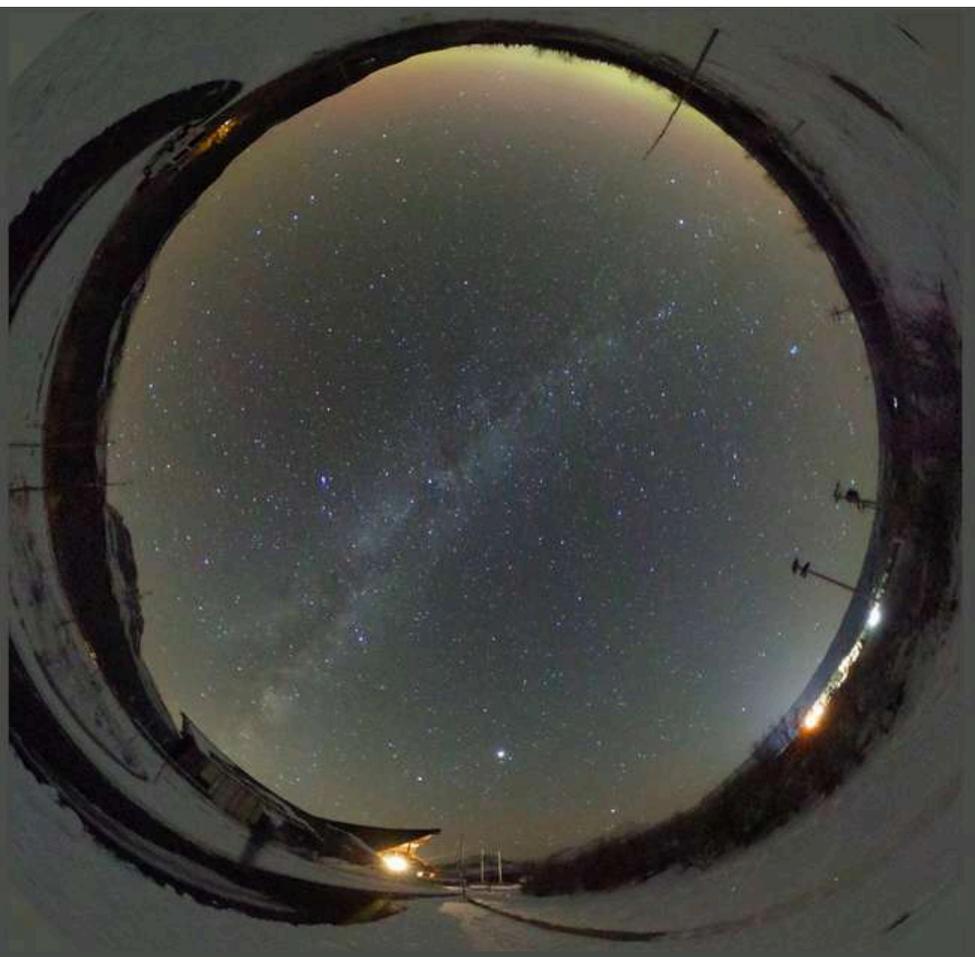
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 501, Issue 4, March 2021,

Eduard Masana ✉, Josep Manel Carrasco, Salvador Bará, Salvador J Ribas

- El brillo del cielo nocturno tiene contribución natural.
- El brillo natural es función del lugar, de la fecha y hora y de las condiciones de la atmósfera.

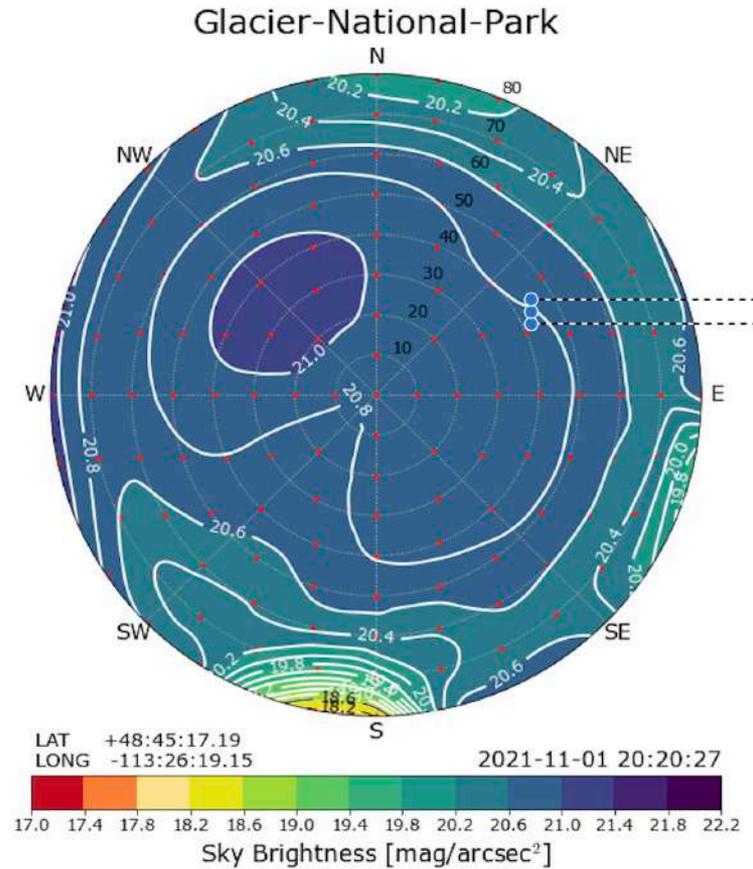
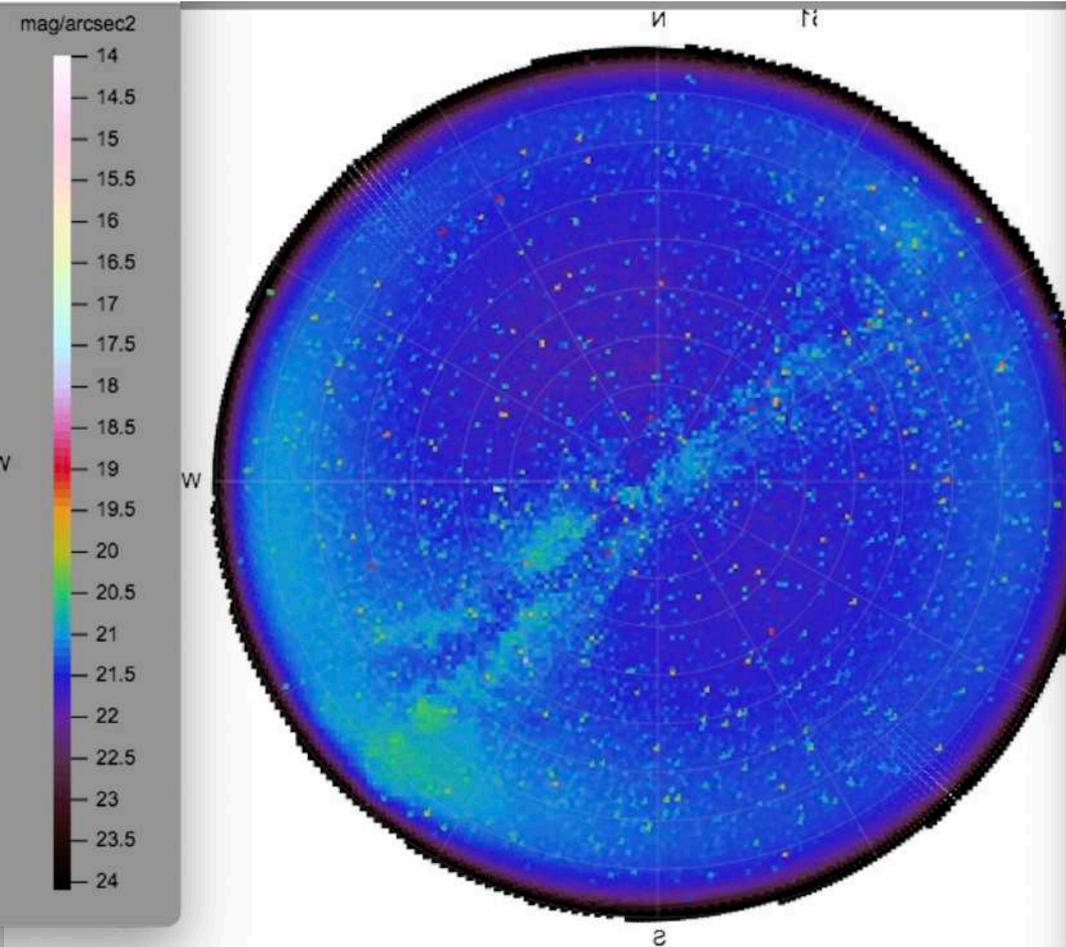
Component	Mean radiances (nW m ⁻² sr ⁻¹)	Percentage (%)
Airglow	165	47.7
Zodiacal Light	95	27.5
Integrated Star Light	75	21.7
Diffuse Galactic Light	10	2.9
Extragalactic Background Light	0.8	≈ 0.2

- Usando datos del satélite GAIA se puede estimar el brillo del cielo nocturno en ausencia de contaminación lumínica.
- Restando la componente natural de las observaciones para conocer la contribución de la luz artificial.



La fotografía de ojo de pez (www.nps.gov/glac/learn/nature/night-sky.htm) muestra la Vía Láctea, el centro de visitantes y una aurora al norte de Glacier National Park (USA). El mapa Nixnox reproduce estos abrigantamientos de la bóveda celeste (con equipamiento barato).

<https://nixnox.ucm.es/>



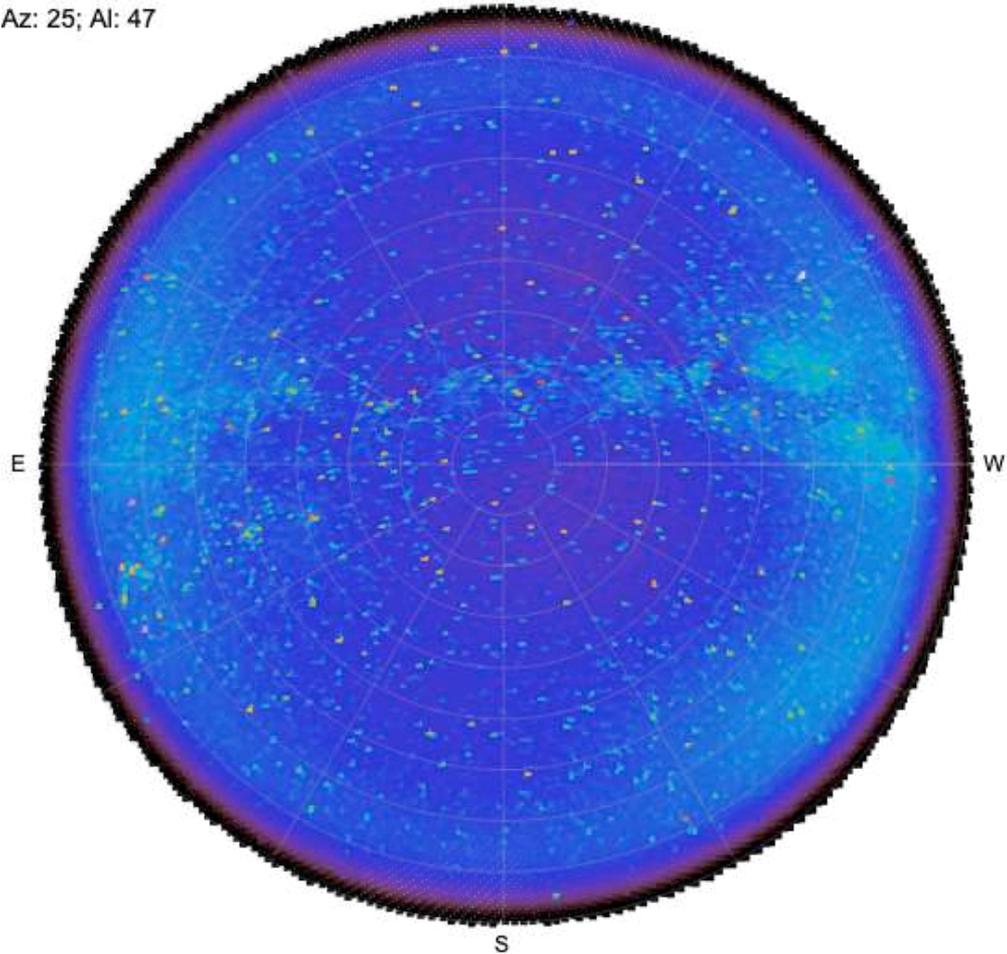


Zenith magnitude (average magnitude for zenith angle < 5°): 21.57 (mag·arcsec⁻²)

V (mag/arcsec²): 21.59
Az: 25; Al: 47

N

mag/arcsec²



The GAia Map of the Brightness Of Natural Sky

Read carefully the About page before to use GAMBONS data

Local Map at (0.1164, 42.4250), España

Lon.: 0.1164 / Lat.: 42.4250 Elev. (m.a.s.l.): 570 Change location

Date: 20-Nov-2022 Hour: 22 Minute: 0 Now

Time zone: Central European Standard Time Europe/Madrid (GMT+1)

Altitude of the Sun above the horizon: -49°

Airglow and atmospheric parameters

Airglow Spectrum: AirglowSpectrum.dat Browse Default Value (%): 100

Get spectrum from ESO SkyCalc here

Aerosols Ångström exponent (α): 1.0 τp(0.2) 0.2

Compute

Download Map

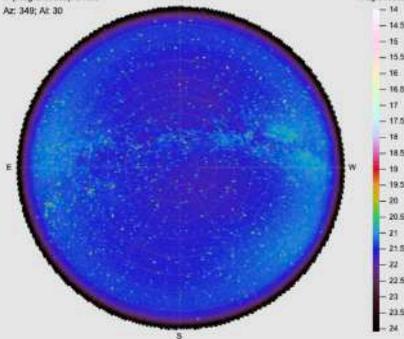
Download Data

Low resolution (faster)

Band: V (Johnson)

Zenith magnitude (average magnitude for zenith angle < 5°): 21.57 (mag·arcsec⁻²)

V (mag/arcsec²): 21.56
Az: 349; Al: 30



Horizontal irradiance (W·m⁻²): 1.220·10⁻⁶
Average upper hemisphere radiance (W·m⁻²·sr⁻¹): 0.375·10⁻⁶
Average full sphere radiance (W·m⁻²·sr⁻¹): 0.226·10⁻⁶

Lon.: 0.1164 / Lat.: 42.4250

Elev. (m.a.s.l.): 570

Date: 20-Nov-2022

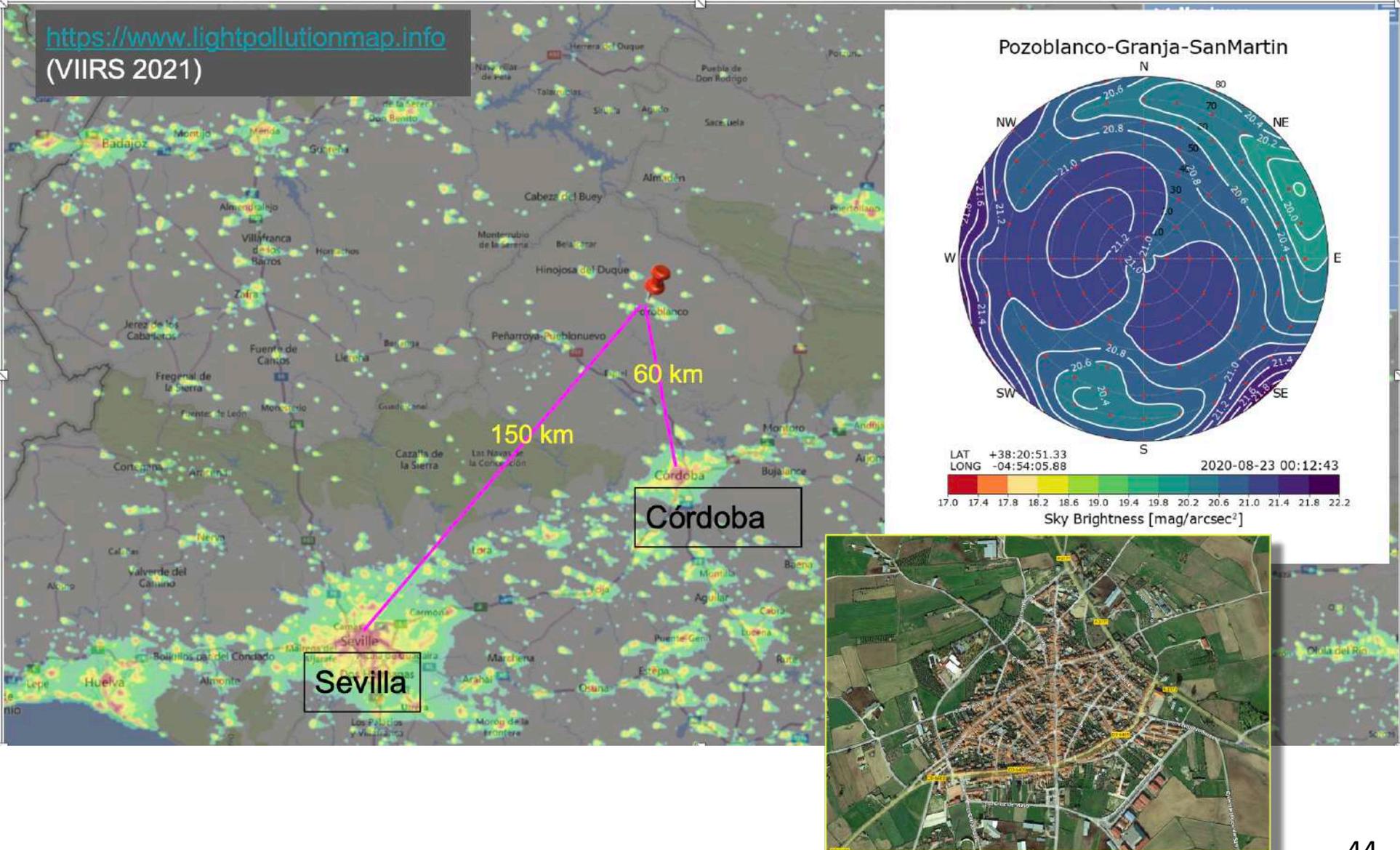


Hour: 22 Minute: 0 Now

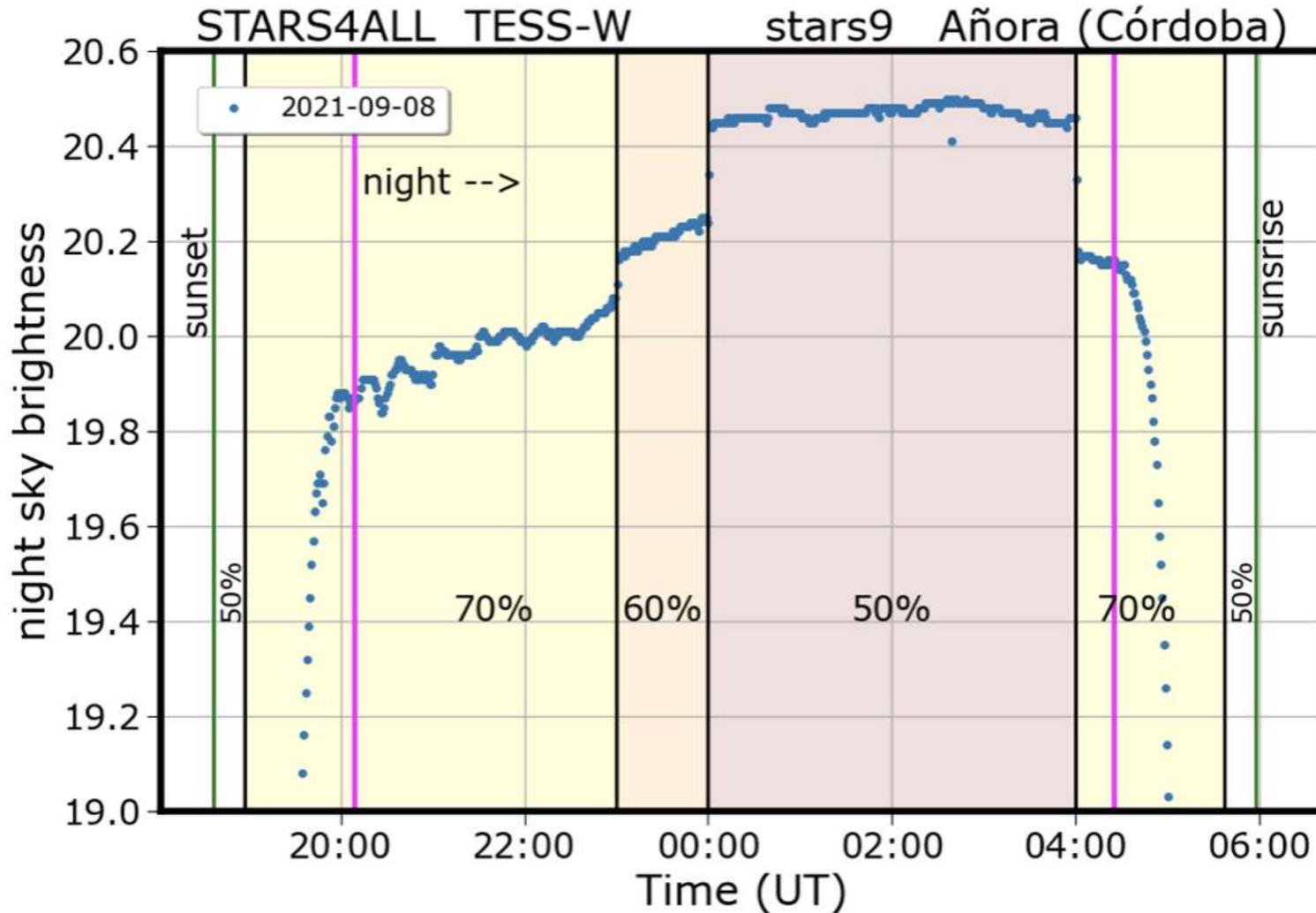
Time zone: Central European Standard Time Europe/Madrid (GMT+1)

Altitude of the Sun above the horizon: -49°

Impacto del alumbrado público en el brillo de cielo nocturno: El laboratorio urbano de Añora

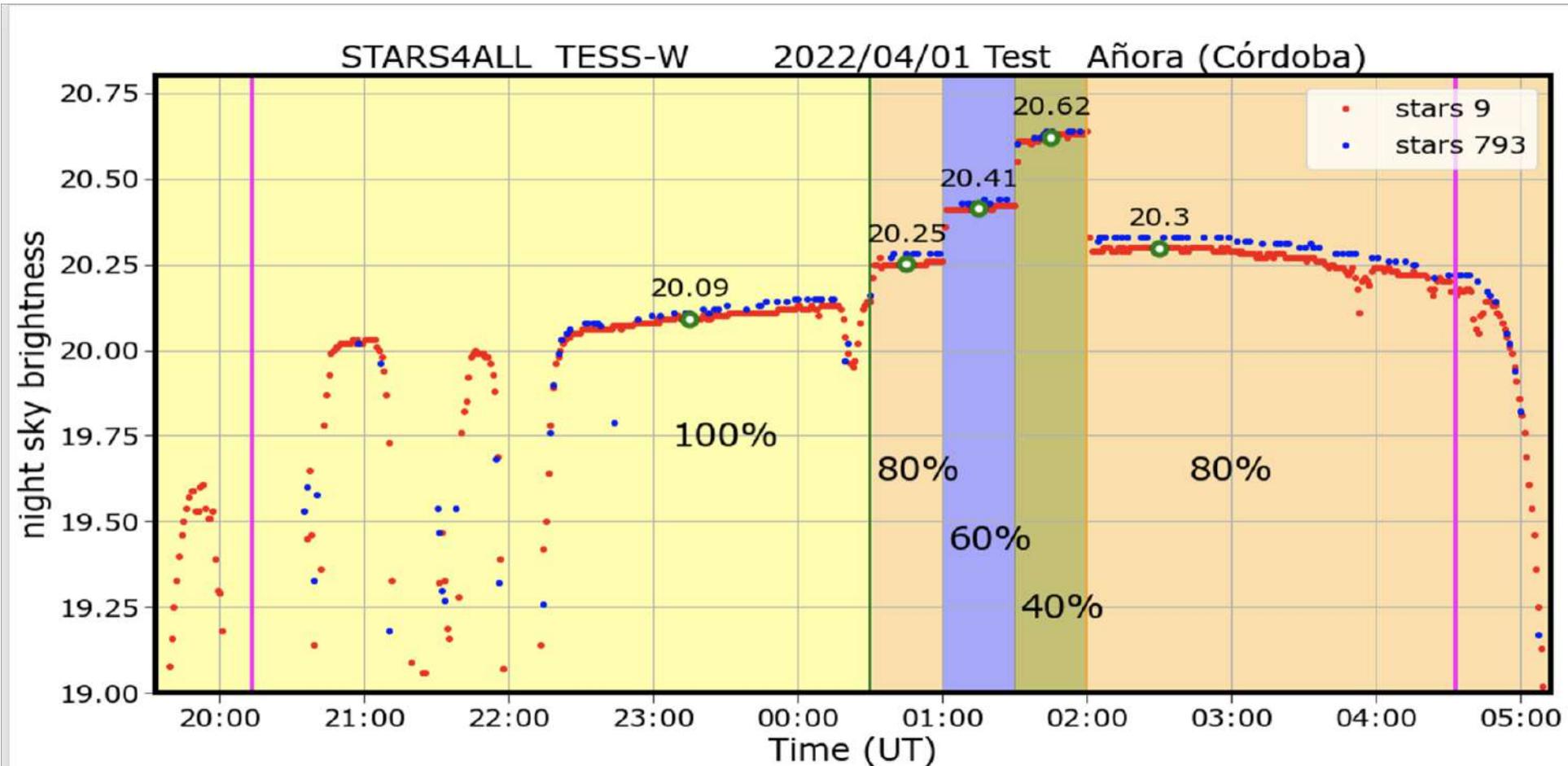


El laboratorio urbano de Añora



- El alumbrado público está, en parte, regulado en potencia.
- Desde media noche se reduce al 50%.
- El brillo de cielo medido con el fotómetro TESS-W stars9 refleja esos cambios de potencia.

El laboratorio urbano de Añora



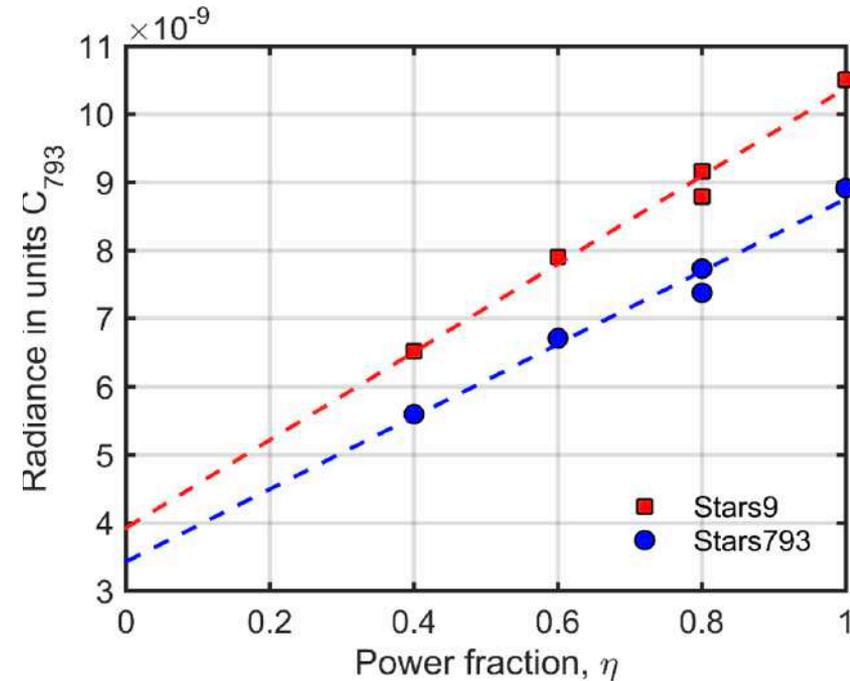
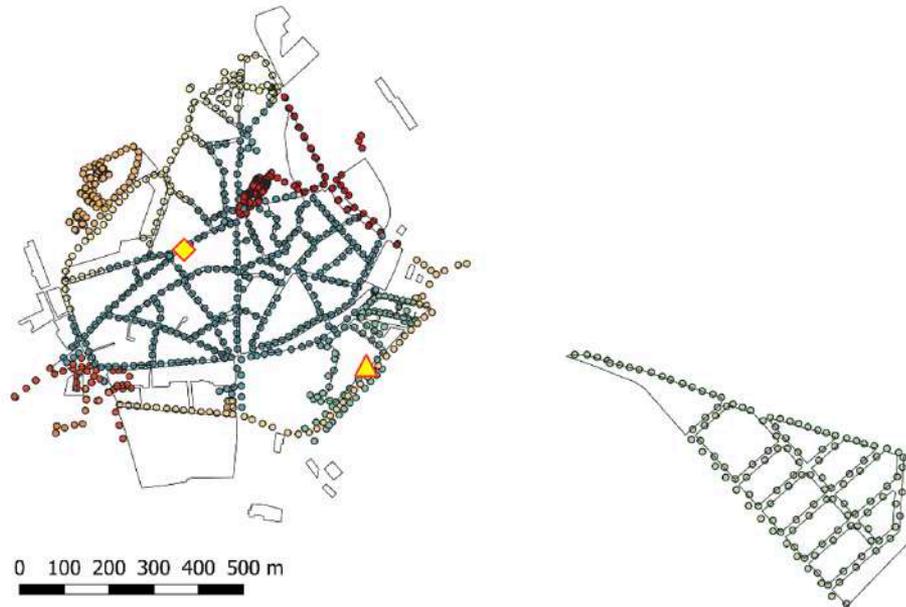
- Tests en colaboración con el Ayuntamiento de Añora.
- Se muestra la variación a lo largo de la noche con escalones que corresponden a las distintas potencias.
- Observaciones con dos fotómetros. Está prevista una red de fotómetros.

“Controlling the artificial radiance of the night sky: The Añora urban laboratory”

J. Zamorano, S. Bará, Manuel Barco, Cristóbal García & Antonio Luis Caballero

Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer (enviado)

Light Pollution: Theory, Modelling and Measurement LPTMM2022 Santiago de Compostela



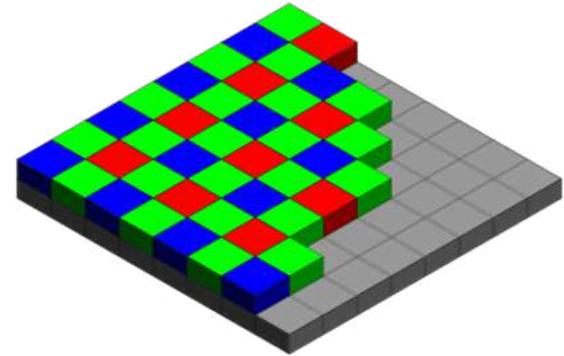
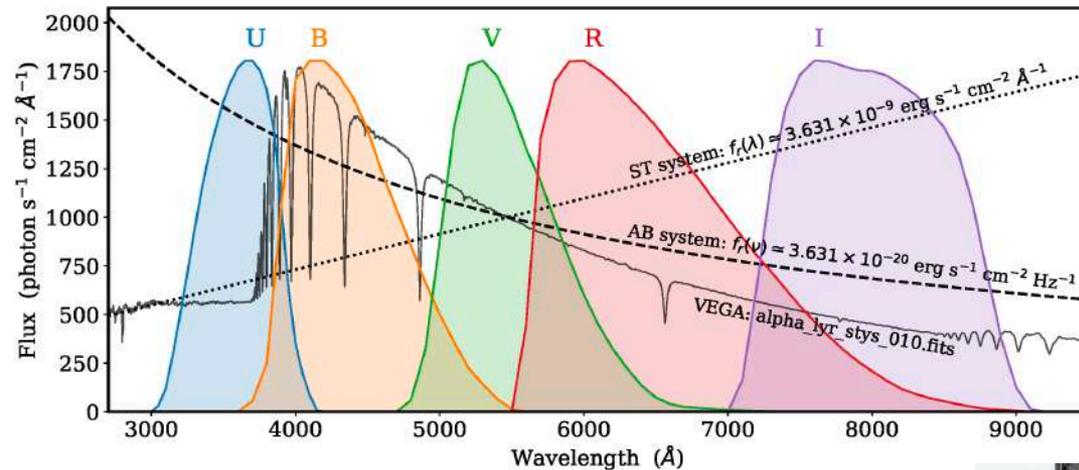
- La contribución de las farolas reguladas de Añora al brillo de cielo en el cénit es del 60-62%
- La ley de potencias que describe la dependencia del brillo del cielo con la distancia a las fuentes es cercano a -1.
- Los resultados muestran las sinergías que pueden obtenerse con las colaboraciones de investigadores académicos, autoridades públicas y ciencia ciudadana.

Apagando estas farolas el brillo de cielo en el cénit sería de 21.19.

Ideal para ver la Vía Láctea en las fiestas del pueblo

Fotometría RGB

Una alternativa a la fotometría de Johnson B, V, R



- El sistema fotométrico de Johnson es ampliamente utilizado en astronomía.
- Muchos astrónomos aficionados usan cámaras con rueda de filtros RGB.
- Las cámaras digitales (de fotos DLSR, CMOS color y teléfonos) tienen una matriz de Bayer RGB para detectar en color.
- Transformar al sistema de Johnson (B, V y R) a partir de observaciones RGB tiene problemas.



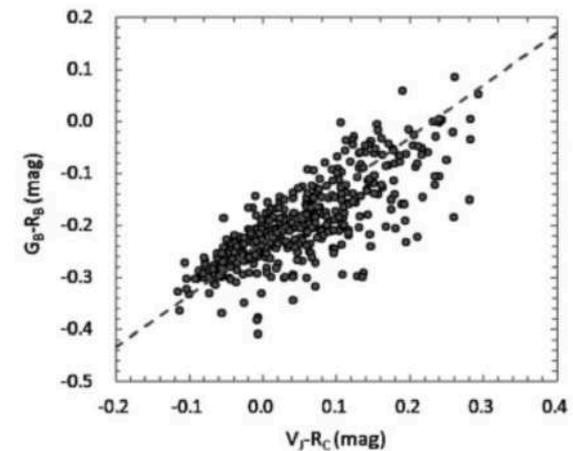
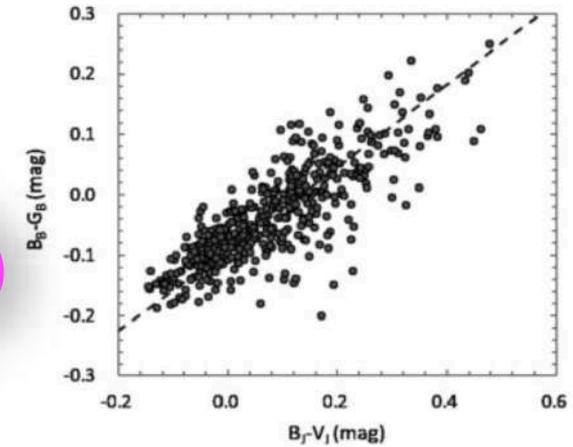
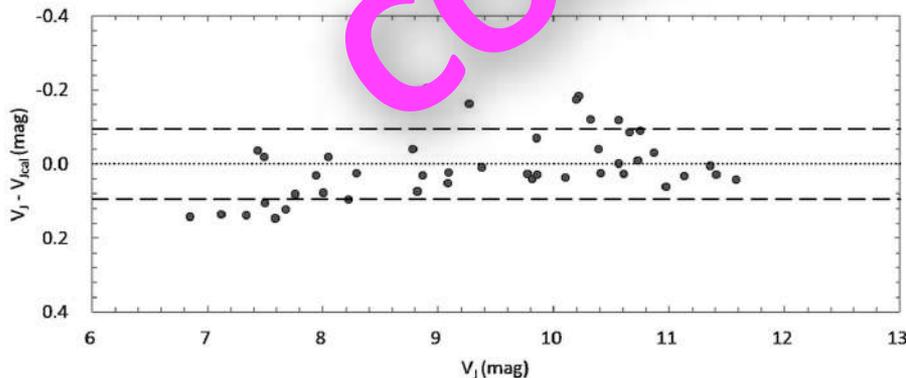
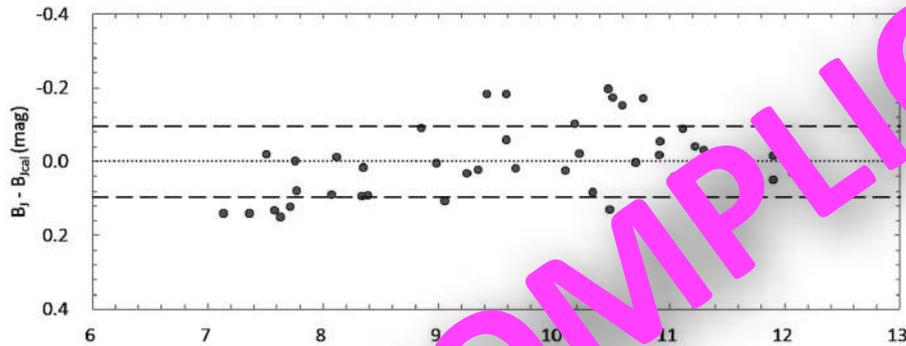
Photometric transformation from RGB Bayer filter system to Johnson–Cousins BVR filter system

Woojin Park ^a, Soojong Pak ^a, Hyunjin Shim ^b, Huynh Anh N. Le ^a,
Myungshin Im ^c, Seunghyuk Chang ^d, Joonkyu Yu ^e

$$B_J = B_{B,ZP} + B_B + C_{B,BG}(B_B - G_B) + C_{B,GR}(G_B - R_B) \quad (1)$$

$$V_J = G_{B,ZP} + G_B + C_{V,BG}(B_B - G_B) + C_{V,GR}(G_B - R_B) \quad (2)$$

$$R_C = R_{B,ZP} + R_B + C_{R,BG}(B_B - G_B) + C_{R,GR}(G_B - R_B) \quad (3)$$

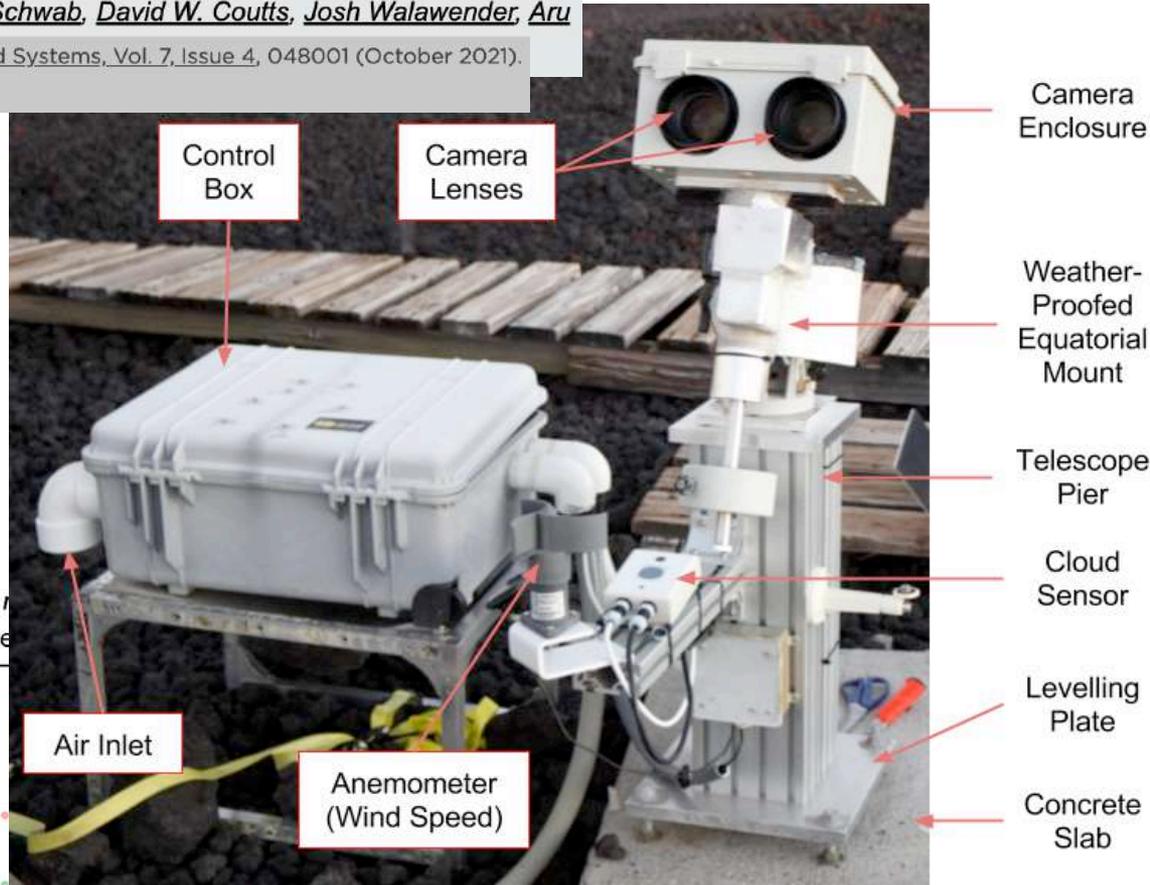


On-sky demonstration of precision photometry with Bayer color filter arrays

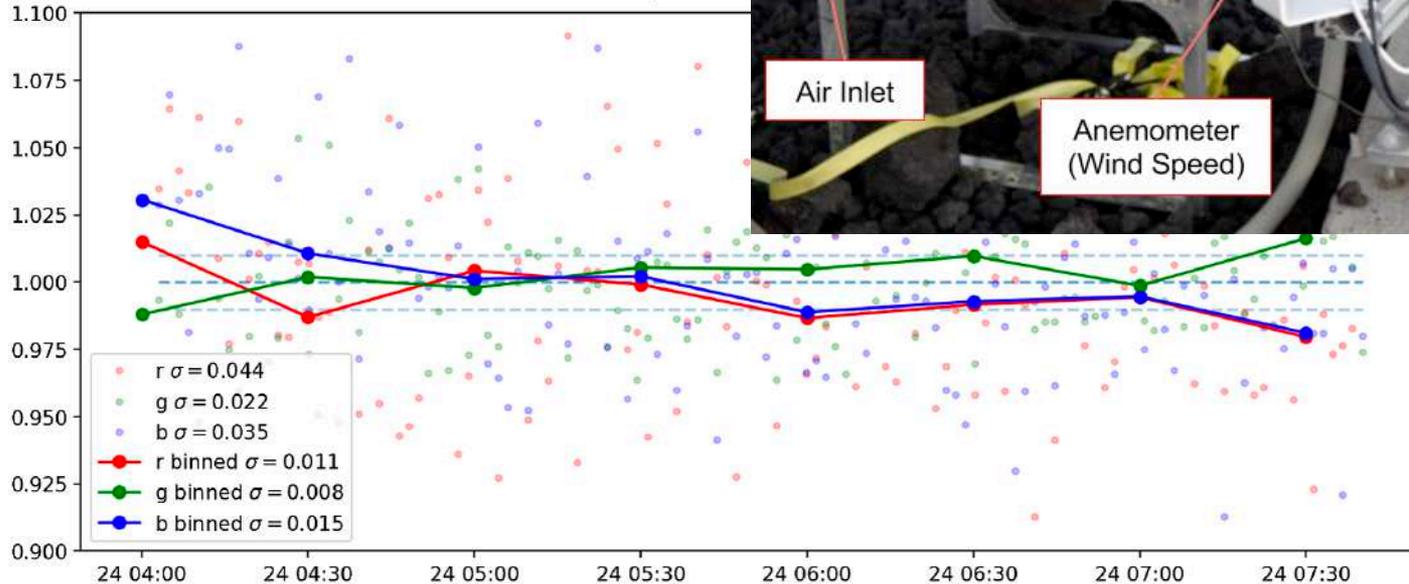
Usando directamente RGB para fotometría diferencial

Wilfred T. Gee, Olivier Guyon, Nemanja Jovanovic, Christian Schwab, David W. Coutts, Josh Walawender, Aru Mukherjea

Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems, Vol. 7, Issue 4, 048001 (October 2021).
<https://doi.org/10.1117/1.JATIS.7.4.048001>

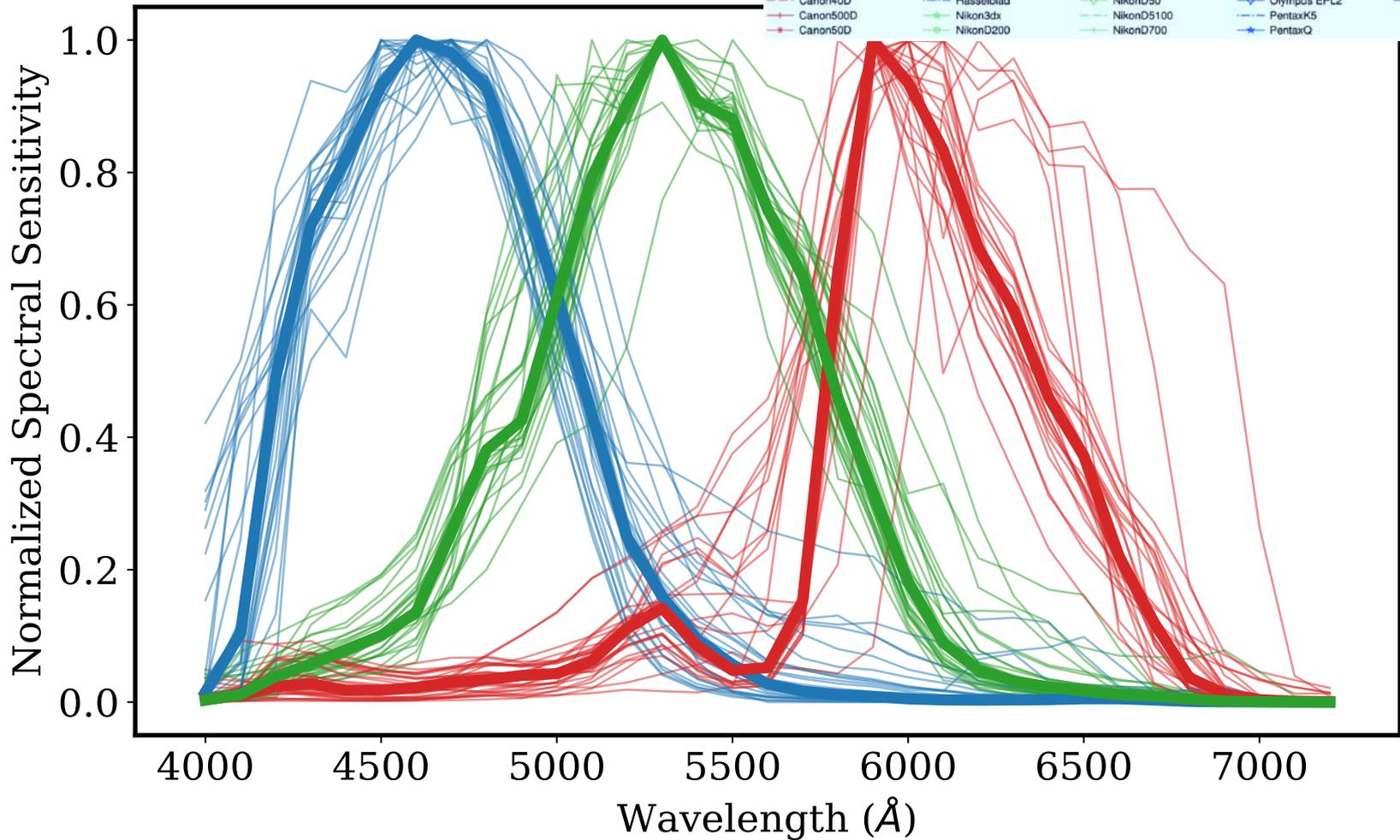
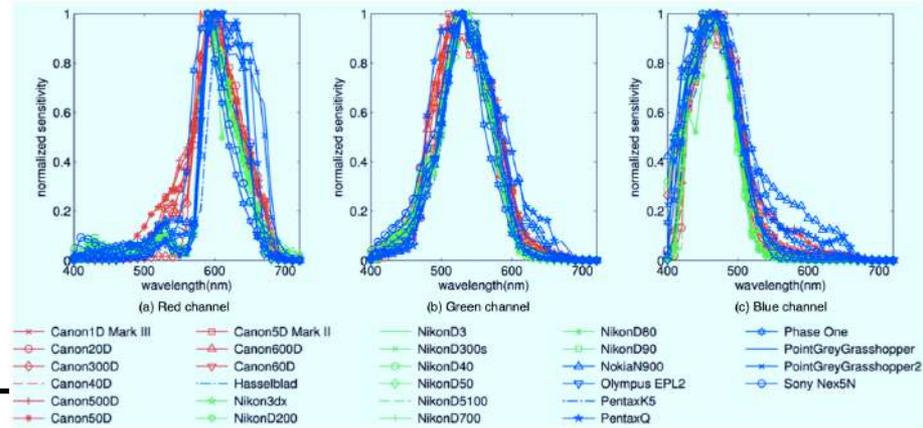


PICID 244529168 r
 Differential photometry



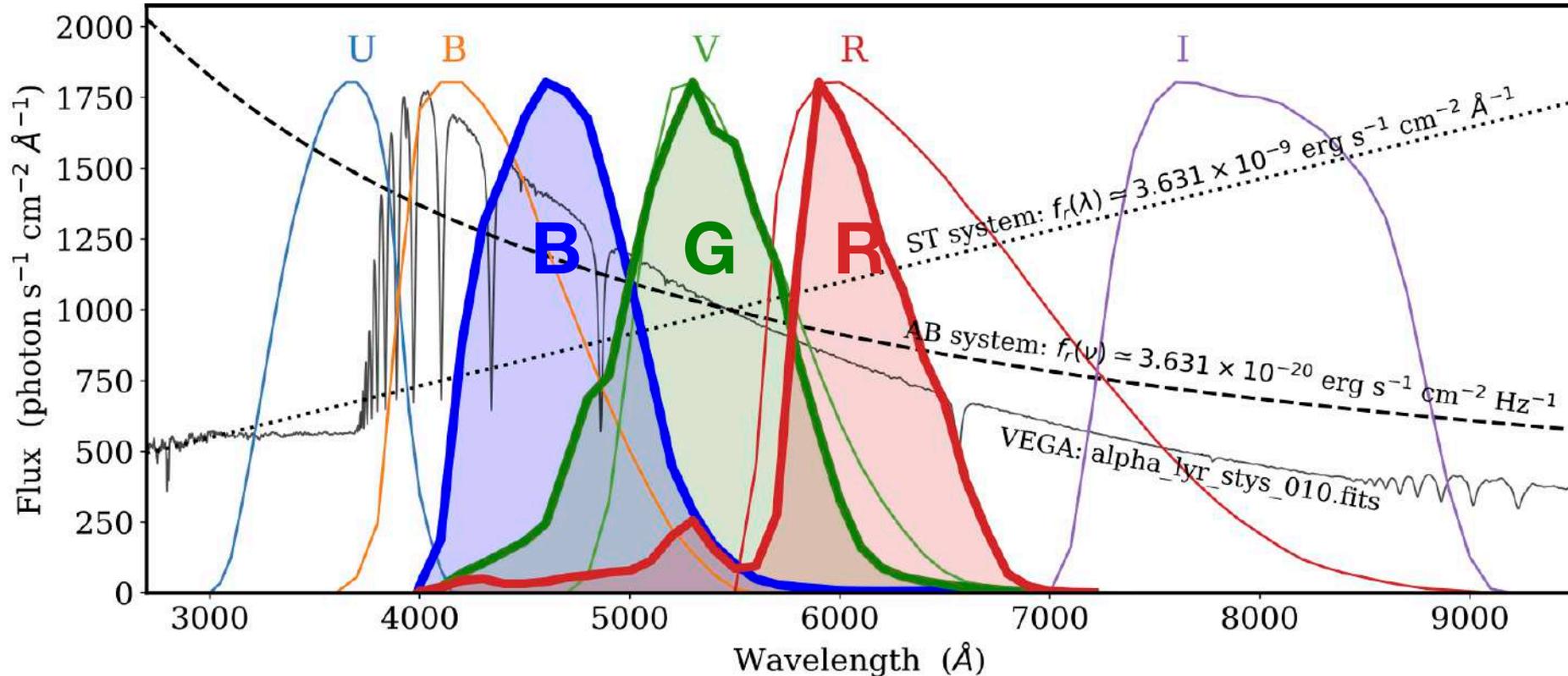
Fotometría **RGB**

curvas de respuesta espectral



Fotometría RGB

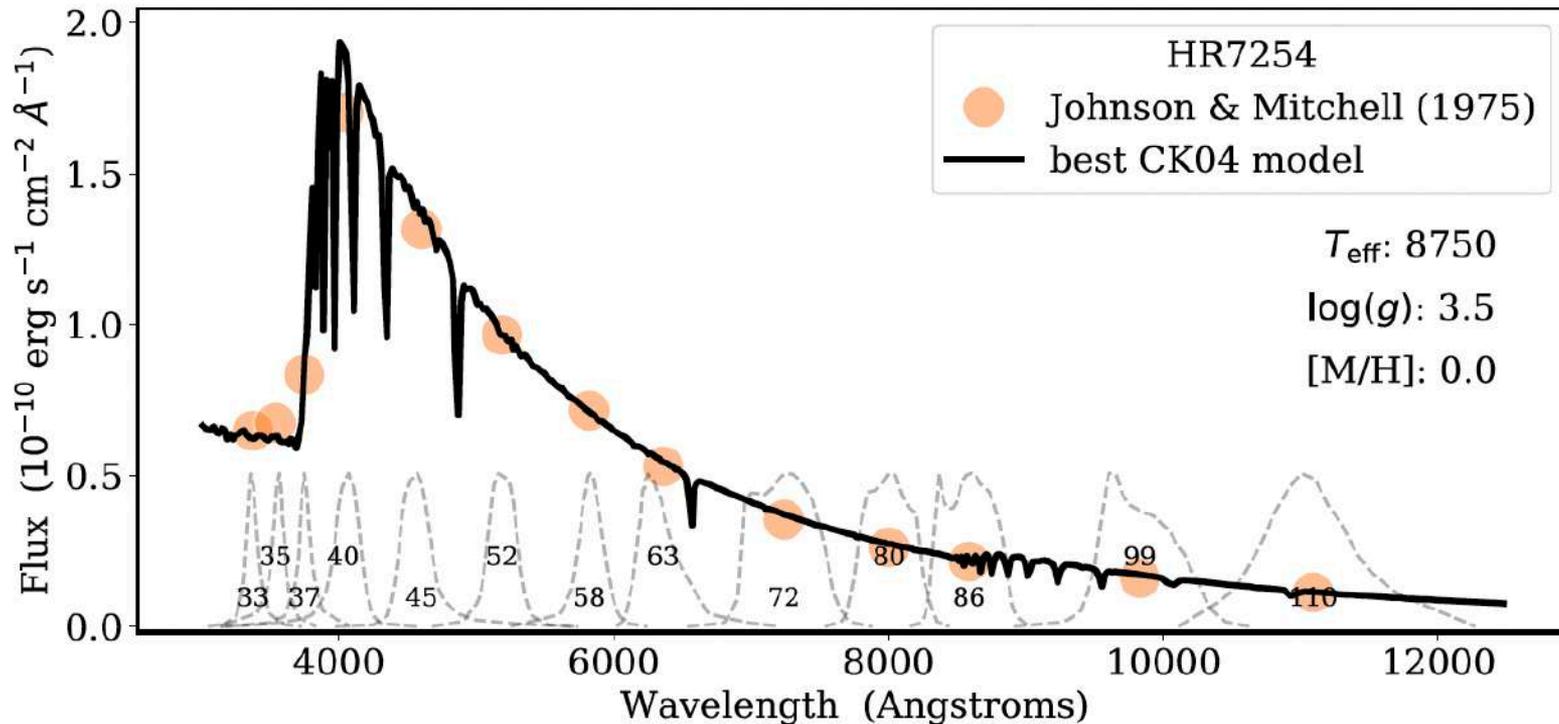
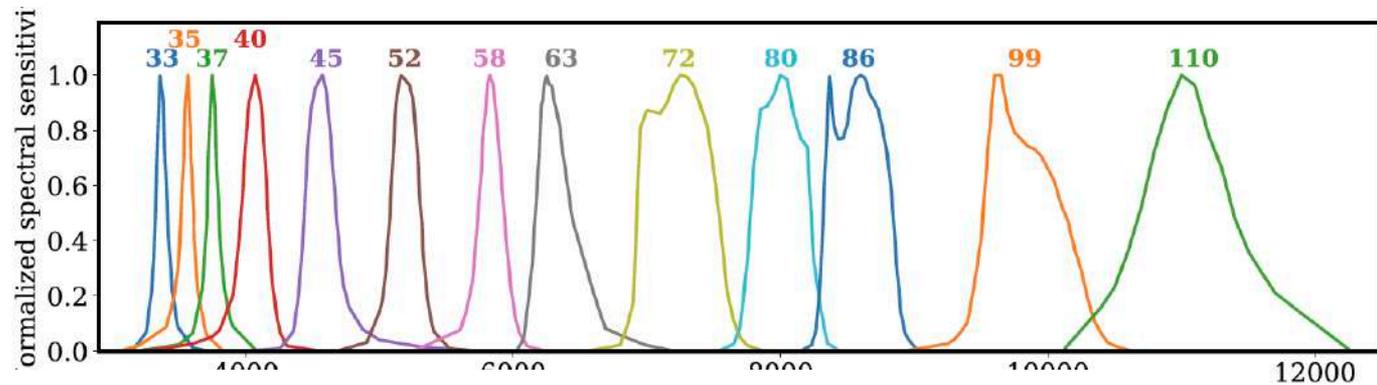
curvas de respuesta espectral



La comparación de las bandas RGB con Johnson B, V y R nos da pistas de por qué la transformación desde observaciones RGB es difícil.

Fotometría

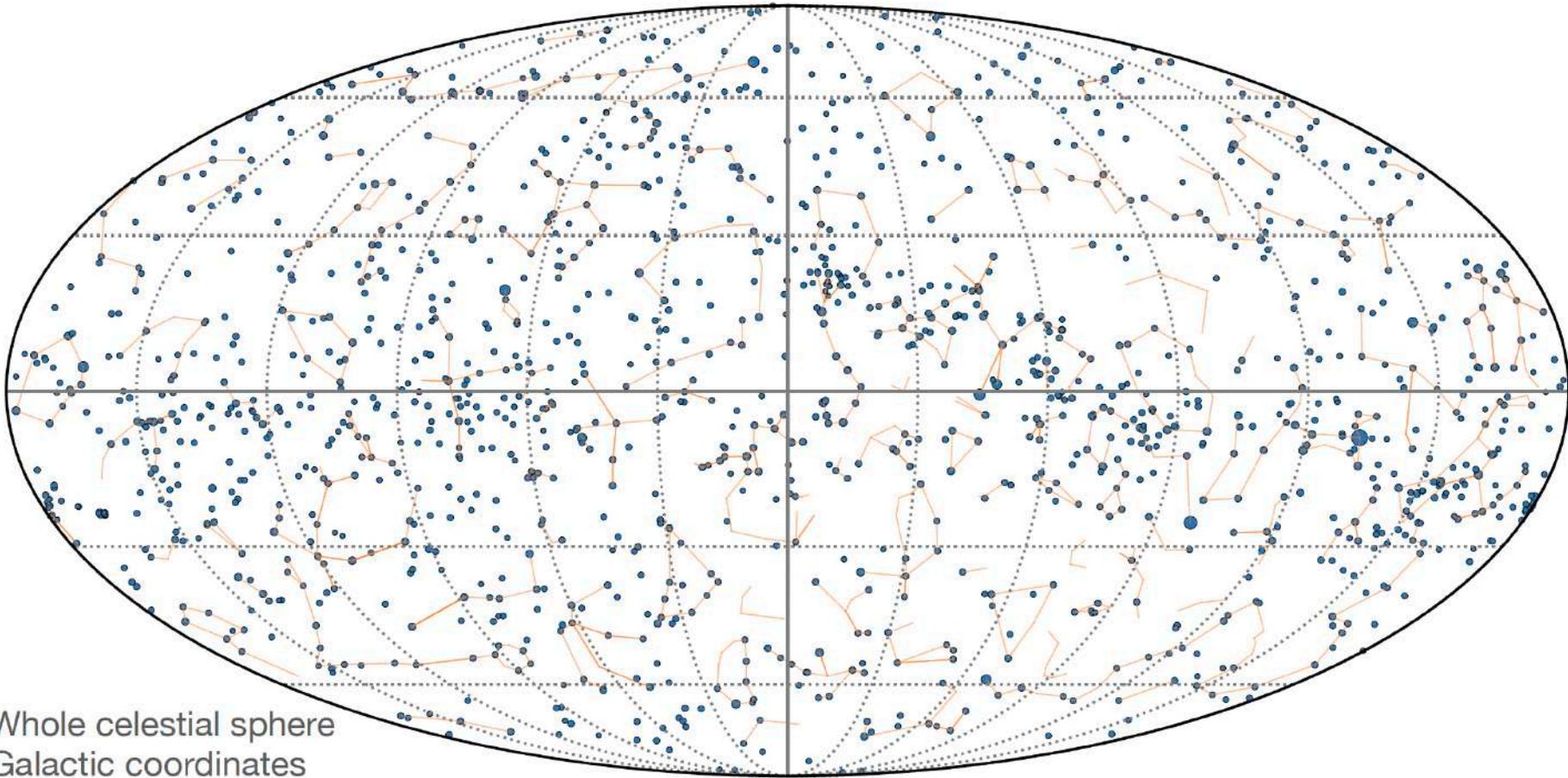
RGB



Para la muestra original de 1380 estrellas estándar usamos fotometría sintética a partir de observaciones en 13 bandas (Johnson & Mitchell, 1975)

Fotometría **RGB**

Catalogue of 1346 stars with **RGB** magnitude estimates



Whole celestial sphere
Galactic coordinates

Las estrellas estándar cubren todo el cielo pero son brillantes,
se necesita una muestra de referencia más amplia

“Synthetic RGB photometry of bright stars: definition of a standard photometric system and UCM library of spectrophotometric spectra”
Cardiel et al. (2021) *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 504, Issue 3, July 2021,
Pages 3730–3748, <https://doi.org/10.1093/mnras/stab997>

1346 estrellas estándar

“RGB photometric calibration of 15 million Gaia stars” Cardiel et al. (2021)
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 507, Issue 1, October 2021,
Pages 318–329, <https://doi.org/10.1093/mnras/stab2124>

15 Millones de estrellas

RGB synthetic photometry from Gaia DR3 spectrophotometry

200 Millones
de estrellas

J.M. Carrasco¹, N. Cardiel^{1,3}, E. Masana¹, J. Zamorano^{1,3}, S. Pascual^{1,3}, A. Sánchez de Miguel^{1,4},
R. González¹, and J. Izquierdo¹

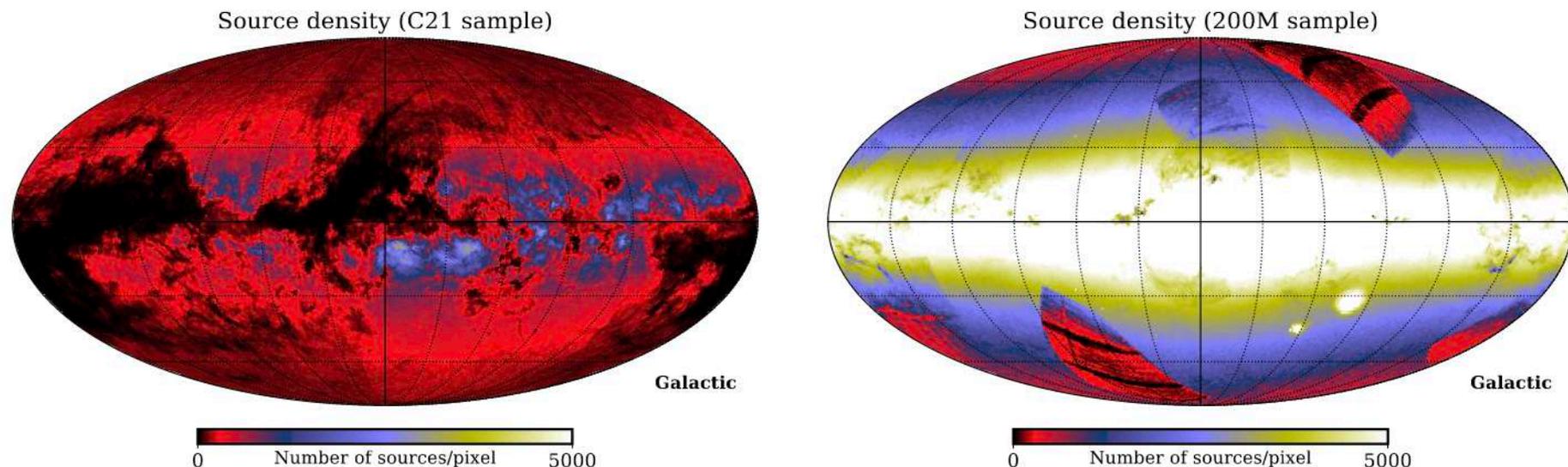
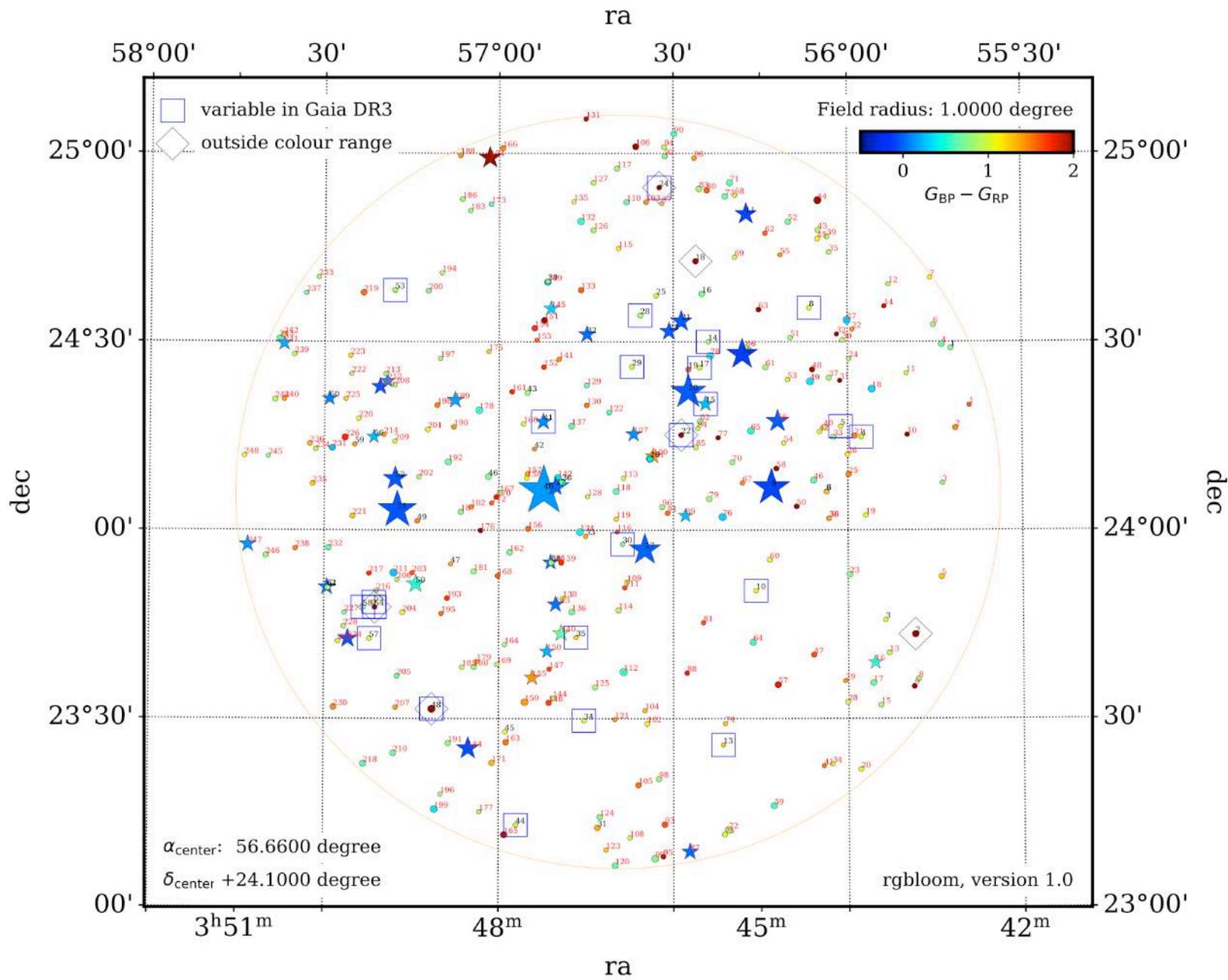


Fig. 4. Source density maps, in Galactic coordinates, corresponding to the C21 (left) and the 200M (right) samples. These maps have been created using HEALPIX of level 6 (providing a pixel size of 0.84 square degrees), and are colour coded depending on the number of sources within the pixel. Note that the color scale is the same in both maps. See Fig. 5 for a histogram comparison of the source density in these maps.



Resumen para llevarse a casa

- **El cielo oscuro y estrellado**
 - Es un patrimonio cada vez más escaso.
 - Tenemos el deber de preservarlo.
 - Objetivo: descontaminar los cielos contaminados.
- **La iluminación artificial nocturna**
 - Es antinatural. La noche es necesaria.
 - Produce un impacto como cualquier contaminación.
 - Menos intensidad y evitando LEDs blancos.
- **La contaminación lumínica**
 - No sólo afecta a la astronomía.
 - Actúa a largas distancias. Es un problema global.

Tenemos mucho trabajo por delante



La tumba de las luciérnagas (火垂るの墓, *Hotaru no Haka*)
(高畑 勲, *Takahata Isao*) 1988 Cine Bélico