



XUNTA DE GALICIA  
CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE  
E ORDENACIÓN DO TERRITORIO

meteogalicia

## REDE GALEGA DE MEDIDA DO BRILLO DO CEO NOCTURNO

*Red Gallega de Medida del Brillo del Cielo Nocturno*

*Galician Night Sky Brightness Measurement Network*

METEOGALICIA-USC

INFORME ANUAL - ANNUAL REPORT 2017

**Cláusula de responsabilidade no uso dos datos:** Os datos aquí amosados son sometidos a distintas rutinas de validación sucesivas ao longo do tempo, polo que poden darse modificacións dos mesmos. Nin MeteoGalicia nin a USC asumen responsabilidade algúns sobre as diversas utilizacións ou interpretacións que o usuario poida facer dos datos subministrados.

**Cláusula de responsabilidad en el uso de los datos:** Los datos aquí recogidos son sometidos a distintas rutinas de validación sucesivas a lo largo del tiempo, por lo que pueden tener lugar modificaciones de los mismos. Ni MeteoGalicia ni la USC asumen responsabilidad alguna sobre las diversas utilizaciones o interpretaciones que el usuario pueda hacer de los datos suministrados.

**Disclaimer:** The night sky brightness data provided herein are subjected to different and successive validation routines, and hence their values could suffer some changes over time, according to the progress of our scientific understanding of these phenomena. Neither MeteoGalicia nor the USC can be found liable for any use or interpretation the user could make of these data.

## **CONTIDOS**

<b>1. A Rede de sensores - La Red de sensores - The sensors Network .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Localización dos sensores da Rede - Localización de los sensores de la Red - Sensor locations .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Visualización de datos - Data Visualization .....</b>	<b>9</b>
<b>4. Brillo cenital do ceo nocturno rexistrado nas estacións de MeteoGalicia ano 2017 - Brillo cenital del cielo nocturno registrado en las estaciones de MeteoGalicia año 2017 - Zenithal night sky brightness recorded at MeteoGalicia weather stations year 2017 .....</b>	<b>12</b>
- Areeiro .....	13
- Cabeza de Manzaneda .....	14
- O Cebreiro .....	15
- Fontaneira .....	16
- Guísamo .....	17
- Illas Cíes .....	18
- Illa de Ons .....	19
- Illa de Sálvora .....	20
- Labrada .....	21
- Lardeira .....	22
- Paramos .....	23
- Santiago de Compostela .....	24
- Vigo (Porto) .....	25
- Xares .....	26
<b>5. Unidades e sistemas de medida - Unidades y sistemas de medida - Units and measurement systems .....</b>	<b>27</b>
<b>6. Referencias - References .....</b>	<b>30</b>

## **1. A Rede de sensores**

A [Rede Galega de Medida do Brillo do Ceo Nocturno](#) é unha das primeiras e más extensas redes públicas existentes a nivel mundial para a monitorización dos niveis de brillo do ceo debido ás emisións artificiais de luz. É o resultado da colaboración entre [MeteoGalicia](#) e o Laboratorio de Contaminación Luminosa do grupo de investigación [GI-1479](#) da [Universidade de Santiago de Compostela](#). Os datos proporcionados pola Rede teñen unha importancia fundamental para coñecer o estado lumínico actual do brillo do ceo nocturno en Galicia e para detectar os cambios que se poidan producir no futuro.

## **1. La Red de sensores**

La [Red Gallega de Medida del Brillo del Cielo Nocturno](#) es una de las primeras y más extensas redes públicas existentes a nivel mundial para la monitorización de los niveles de brillo del cielo debido a las emisiones artificiales de luz. Es el resultado de la colaboración entre [MeteoGalicia](#) y el Laboratorio de Contaminación Lumínica del grupo de investigación [GI-1479](#) de la [Universidad de Santiago de Compostela](#). Los datos proporcionados por la Red tienen una importancia fundamental para conocer el estado lumínico actual del brillo del cielo nocturno en Galicia y para detectar los cambios que se puedan producir en el futuro.

## **1. The sensors Network**

The [Galician Night Sky Brightness Measurement Network](#) is one of the first and largest public networks for real-time monitoring of the increased sky brightness levels produced by the artificial emissions of light at night. It is operated jointly by [MeteoGalicia](#), the public meteorological agency of the Galician government ([Xunta de Galicia](#)) and the [GI-1479](#) research group of [Santiago de Compostela University](#). The data provided by this network are of key importance for assessing the present levels of anthropogenic night sky brightness, as well as for evaluating the potential changes that may take place in the future.



[GA] A Rede conta con 14 detectores SQM-LR instalados en estacións de MeteoGalicia situadas en zonas fortemente emisoras de luz (áreas urbanas) e zonas de menor emisión luminosa (áreas rurais e de montaña, Parque Nacional das Illas Atlánticas de Galicia) que recollen datos con periodicidade minutal durante as 24 horas do día. Os detectores foron instalados progresivamente ao longo dos anos 2013 e 2014 estando actualmente completada a primeira fase da Rede.

[ES] La Red cuenta con 14 detectores SQM-LR instalados en estaciones de MeteoGalicia situadas en zonas fuertemente emisoras de luz (áreas urbanas) y zonas de menor emisión lumínica (áreas rurales y de montaña, Parque Nacional de las Illas Atlánticasd e Galicia) que registran datos con periodicidad minutal durante las 24 horas del día. Los detectores fueron instalados progresivamente a lo largo de los años 2013 y 2014 estando actualmente completada la primera fase de la Red.

[EN] The Network is composed of 14 SQM-LR detectors installed in MeteoGalicia automated weather stations, distributed among highly lit places (urban areas) and sites with smaller levels of artificial light emissions (rural and mountain areas, and the Galician Atlantic Islands National Park). These sensors record data throughout the whole day, at a rate of one per minute. The detectors were progressively installed along the years 2013 and 2014. This first phase of deployment is fully operative since that time.



[GA] Os datos adquiridos pola rede de detectores están dispoñibles en tempo real en versión dezminutal, para consulta e descarga, na páxina web de MeteoGalicia:

<http://www.meteogalicia.es/Caire;brillodoceo.action>

[ES] Los datos adquiridos por la red de detectores están disponibles en tiempo real en versión diezminutal, para consulta y descarga, en la página web de MeteoGalicia:

<http://www.meteogalicia.es/Caire;brillodoceo.action>

[EN] The data recorded by the network are available in real-time (10 min bins), for visualization and download, at the MeteoGalicia webpage:

<http://www.meteogalicia.es/Caire;brillodoceo.action>

## 2. Localización dos sensores da Rede

### Localización de los sensores de la Red

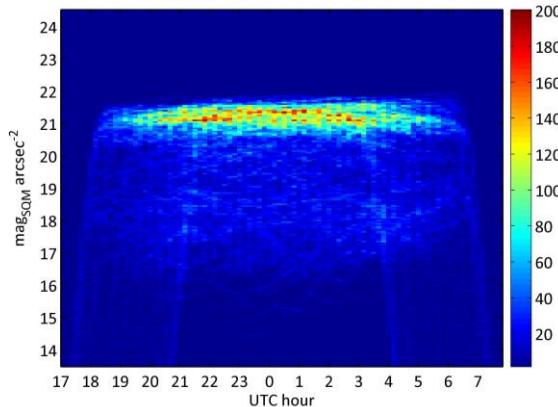
#### Sensor locations

Área - Estación	Lon/Lat 29T ED-50		Altitude (m)	Operativo desde: Operational since:
	UTMX	UTMY		
<b>Centros Urbanos / Urban centers</b>				(AAAA-MM-DD)
Santiago de Compostela	539222	4748551	305	2013-09-09
Vigo (Porto / Puerto / Harbour)	522594	4676863	7	2014-04-08
<b>Localizacóns Periurbanas / Periurban sites</b>				
Guísamo	558515	4795645	176	2014-03-17
Areeiro	527029	4694945	100	2014-03-17
<b>Rexións de Transición / Transition regions</b>				
Illas Cíes	507678	4673514	25	2014-05-21
Illa de Ons	505372	4692421	121	2014-09-24
Illa de Sálvora	498997	4701610	24	2014-12-12
Paramos	524636	4761290	369	2014-06-16
<b>Rural e Montaña / Rural and Mountain</b>				
Labrada	621411	4807150	662	2014-06-11
Fontaneira	647041	4766600	917	2014-04-10
O Cebreiro	660057	4730358	1310	2013-10-25
Lardeira	682612	4694030	1620	2013-10-15
Xares	674089	4675218	1762	2014-05-07
Cabeza de Manzaneda	640477	4680282	1758	2014-04-15

### 3. Visualización de datos - Data Visualization

O significado das diferentes variables está descrito na sección 5, *Unidades e sistemas de medida* / El significado de las diferentes variables está descrito en la sección 5, *Unidades y sistemas de medida* / The meaning of the different variables used herein is described in section 5, *Units and measurement systems*.

#### Densitogramas - Density plots

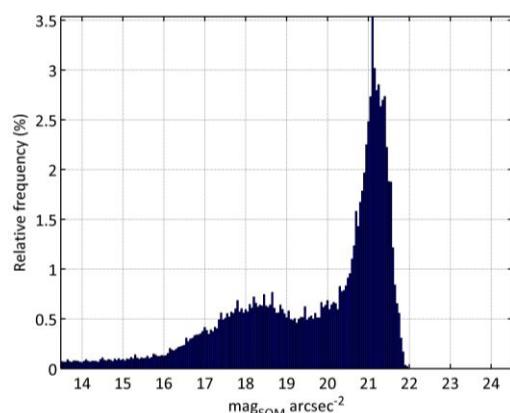


[GA]: O densitograma amosa o número de medidas, para cada valor dado do brillo do ceo, rexistradas en cada momento da noite ao longo do ano. A resolución do eixe vertical (brillo do ceo) é de  $0.05 \text{ mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ , e a do eixe horizontal (hora UTC) é de 10 min.

[ES]: El densitograma muestra el número de medidas, para cada valor dado del brillo del cielo, registradas en cada momento de la noche a lo largo del año. La resolución del eje vertical (brillo del cielo) es de  $0.05 \text{ mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ , y la del eje horizontal (hora UTC) es de 10 min.

[EN]: The densitogram shows the number of measurements, for each given value of the sky brightness, recorded at each time of the night throughout the whole year. The vertical axis resolution is  $0.05 \text{ mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ , and the horizontal one (UTC time) is 10 min.

#### Histogramas - Histograms

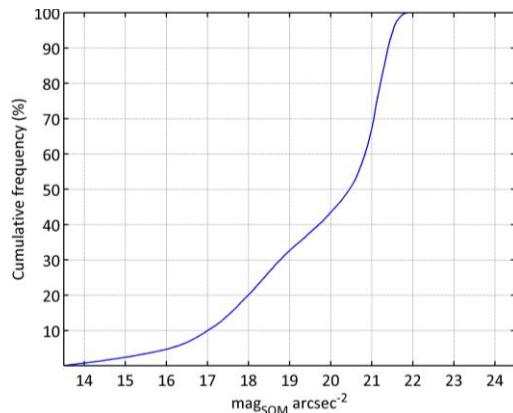


[GA]: O histograma amosa a frecuencia relativa (en %) de cada valor do brillo do ceo nocturno durante o período anual considerado, para o conxunto de medidas iguais ou maiores que  $13.5 \text{ mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ . A resolución é de  $0.05 \text{ mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ . O histograma é a integral do densitograma ao longo da dimensión temporal, normalizada ao número total de medidas.

[ES]: El histograma muestra la frecuencia relativa (en %) de cada valor del brillo del cielo nocturno durante el período anual considerado, para el conjunto de medidas iguales o mayores que  $13.5 \text{ mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ . La resolución es de  $0.05 \text{ mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ . El histograma es la integral del densitograma a lo largo de la dimensión temporal, normalizada al número total de medidas.

[EN]: the histogram displays the relative frequency (%) of each particular value of the night sky brightness across the year for the subset of measurements larger than or equal to 13.5  $\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ . Resolution is 0.05  $\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ . The histogram is computed as the integral of the densitogram over time, normalized by the total number of measurements.

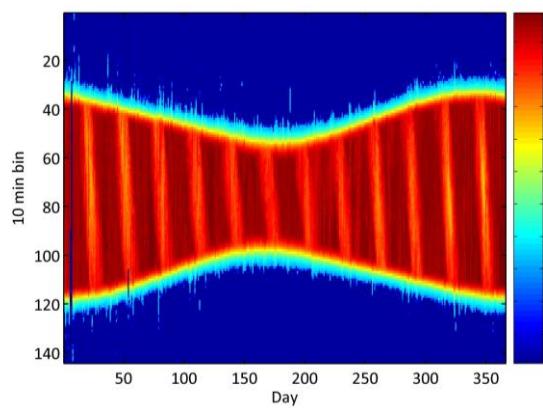
### Suma acumulada - Cumulative sum



indica la probabilidad de registrar una medida de brillo del cielo cuyo valor en  $\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$  es igual o menor que el valor indicado en el eje horizontal, para el conjunto de medidas iguales o superiores a 13.5  $\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ .

[EN]: Cumulative sum plots display the probability (in %) of recording a sky brightness value (in  $\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ ) is equal to or smaller than the values indicated on the horizontal axis. It is computed for the subset of measurements equal to or larger than 13.5  $\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ .

### Trazas diarias (SQMgrama) - Daily plots (SQMgram)



10 medidas minutais efectuadas en cada período dezminutal. Pode apreciarse doadamente a variable duración dos días e as noites ao longo do ano. As franxas verticais inclidadas son debidas ao ciclo de luz da Lúa.

[ES]: El gráfico de trazas diarias (SQMgrama) proporciona información sobre la evolución del brillo del cielo a lo largo de las horas del día para cada día del año. Cada columna

[GA]: A gráfica de suma acumulada, expresada como frecuencia acumulada en %, indica a probabilidade de rexistrar unha medida de brillo do ceo cujo valor en  $\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$  é igual ou menor que o valor indicado no eixe horizontal, para o conxunto de medidas iguais ou superiores a 13.5  $\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ .

[ES]: La gráfica de suma acumulada, expresada como frecuencia acumulada en %,

[GA]: O gráfico de trazas diarias (SQMgrama) proporciona información sobre a evolución do brillo do ceo ao longo das horas do día para cada día do ano. Cada columna corresponde a un día, divido en períodos de 10 minutos, co tempo crecente cara abaixo e centrado na medianoite (UTC). O valor de cada píxel corresponde ao valor medio do brillo do ceo en cada intervalo, medido en  $\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$  (escala de cor lateral) e calculado a partir das 10 medidas minutais efectuadas en cada período dezminutal. Pode apreciarse doadamente a variable duración dos días e as noites ao longo do ano. As franxas verticais inclidadas son debidas ao ciclo de luz da Lúa.

[GA]: O gráfico de trazas diarias (SQMgrama) proporciona información sobre a evolución do brillo do ceo ao longo das horas do día para cada día do ano. Cada columna corresponde a un día, divido en períodos de 10 minutos, co tempo crecente cara abaixo e centrado na medianoite (UTC). O valor de cada píxel corresponde ao valor medio do brillo do ceo en cada intervalo, medido en  $\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$  (escala de cor lateral) e calculado a partir das 10 medidas minutais efectuadas en cada período dezminutal. Pode apreciarse doadamente a variable duración dos días e as noites ao longo do ano. As franxas verticais inclidadas son debidas ao ciclo de luz da Lúa.

corresponde a un día, dividido en períodos de 10 minutos, con el tiempo aumentando hacia abajo y centrado en la medianoche (UTC). El valor de cada píxel corresponde al valor medio del brillo del cielo en cada intervalo, medido en  $\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$  (escala de color lateral) y calculado a partir de las 10 medidas minutales efectuadas en cada período diezminutal. Puede apreciarse fácilmente la variable duración de los días y las noches a lo largo del año. Las franjas verticales inclinadas son debidas al ciclo de luz de la Luna.

[EN]: The daily plot (*SQMgram*) gives information about the daily evolution of the sky brightness for every day of the year. Each column corresponds to a single day, divided in 10 min intervals, with the time increasing downwards and centered at midnight (UTC). Each pixel displays the mean value of the sky brightness in the corresponding interval, measured in  $\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$  (as indicated in the colorbar), computed as the average of the 10 individual measurements taken at a rate of one per minute. The changing duration of the daytime and nighttime periods throughout the year is clearly observable. The slanted fringe pattern is due to the Moonlight cycle.

**4. Brillo cenital do ceo nocturno rexistrado nas estacións de MeteoGalicia**

**ano 2017**

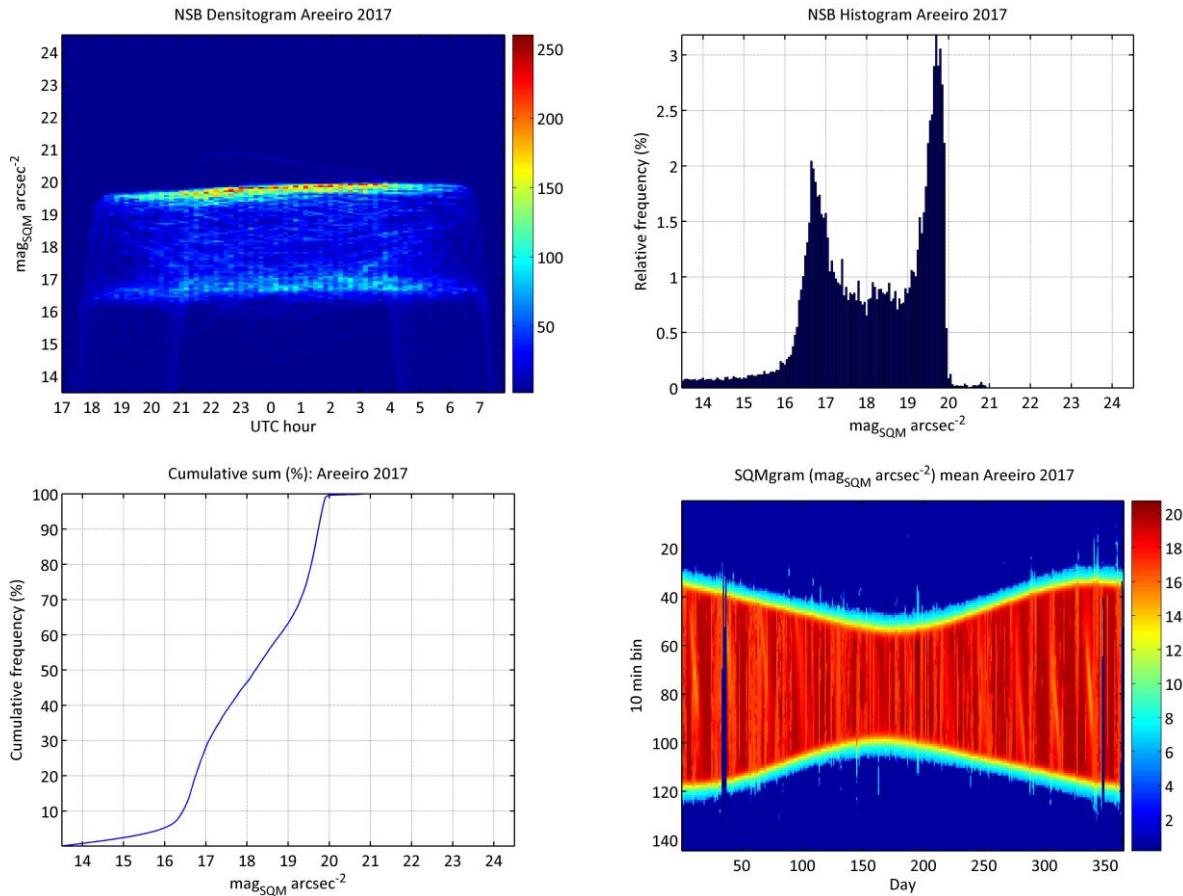
**4. Brillo cenital del cielo nocturno registrado en las estaciones de  
MeteoGalicia**

**año 2017**

**4. Zenithal night sky brightness recorded at MeteoGalicia weather stations**

**year 2017**

## Estación de AREEIRO

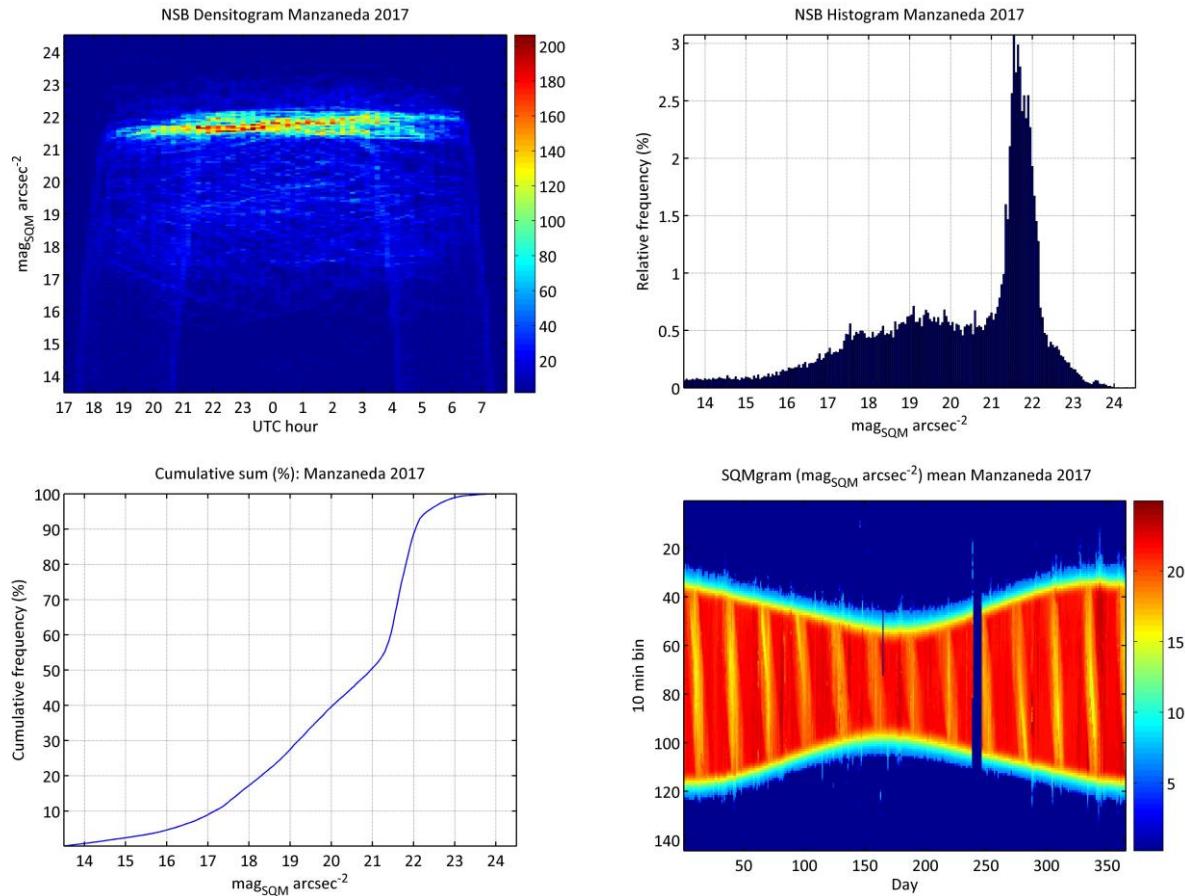


De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## Estación de CABEZA DE MANZANEDA

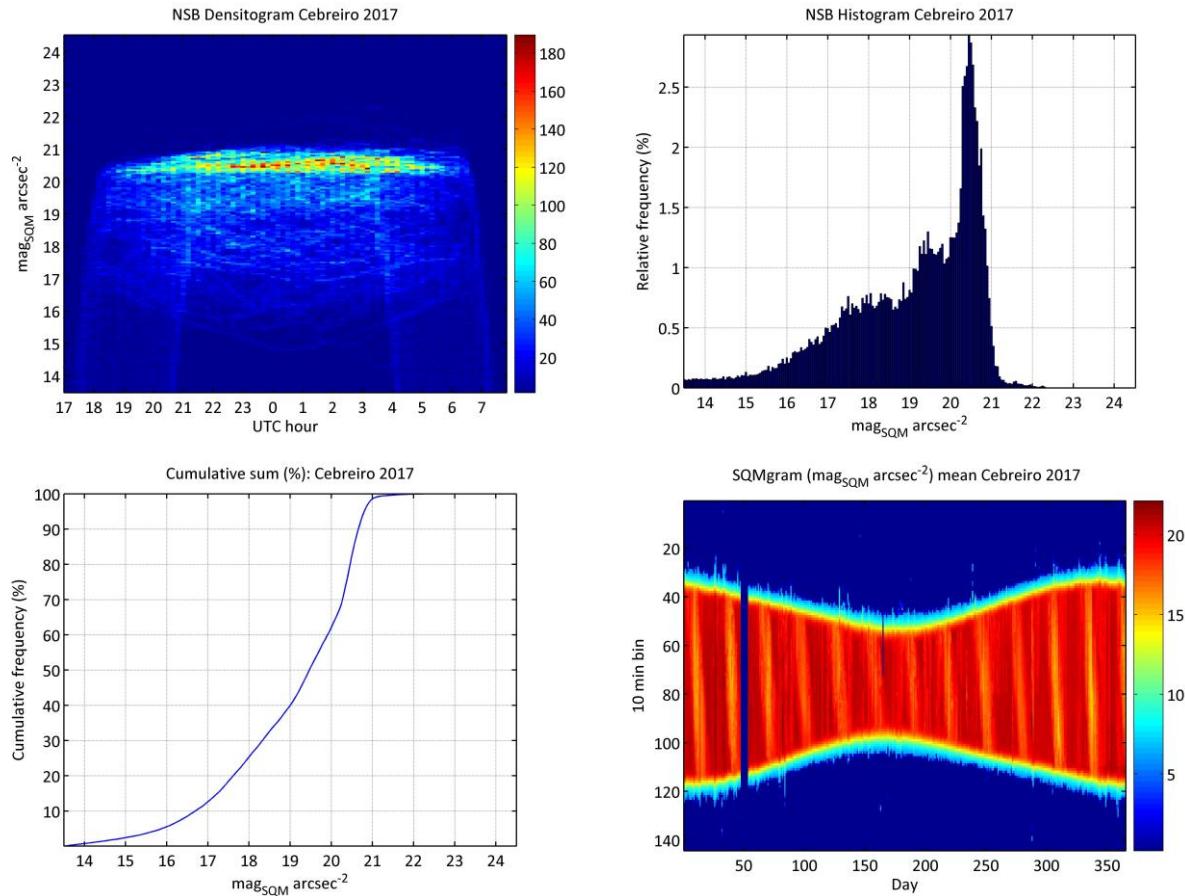


De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## Estación do CEBREIRO

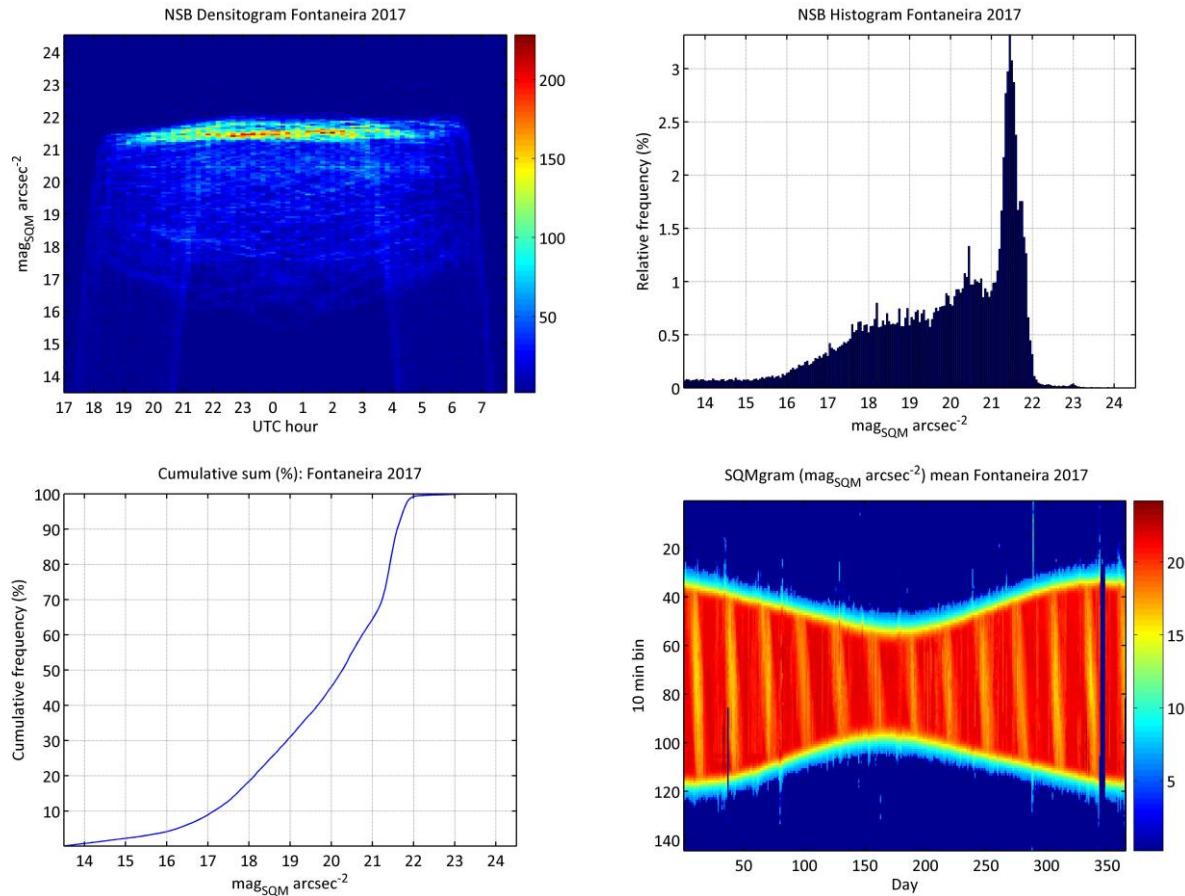


De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## Estación de FONTANEIRA

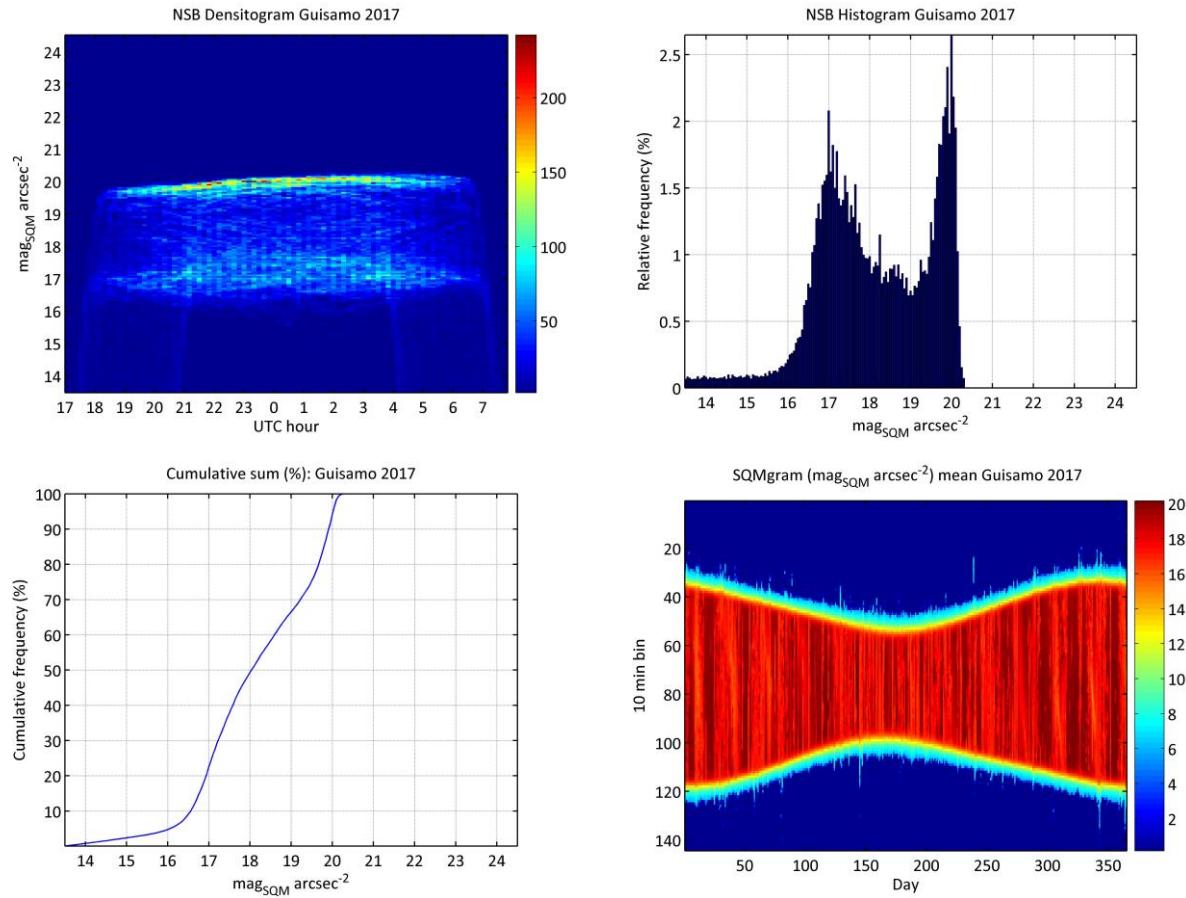


De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## Estación de GUÍSAMO

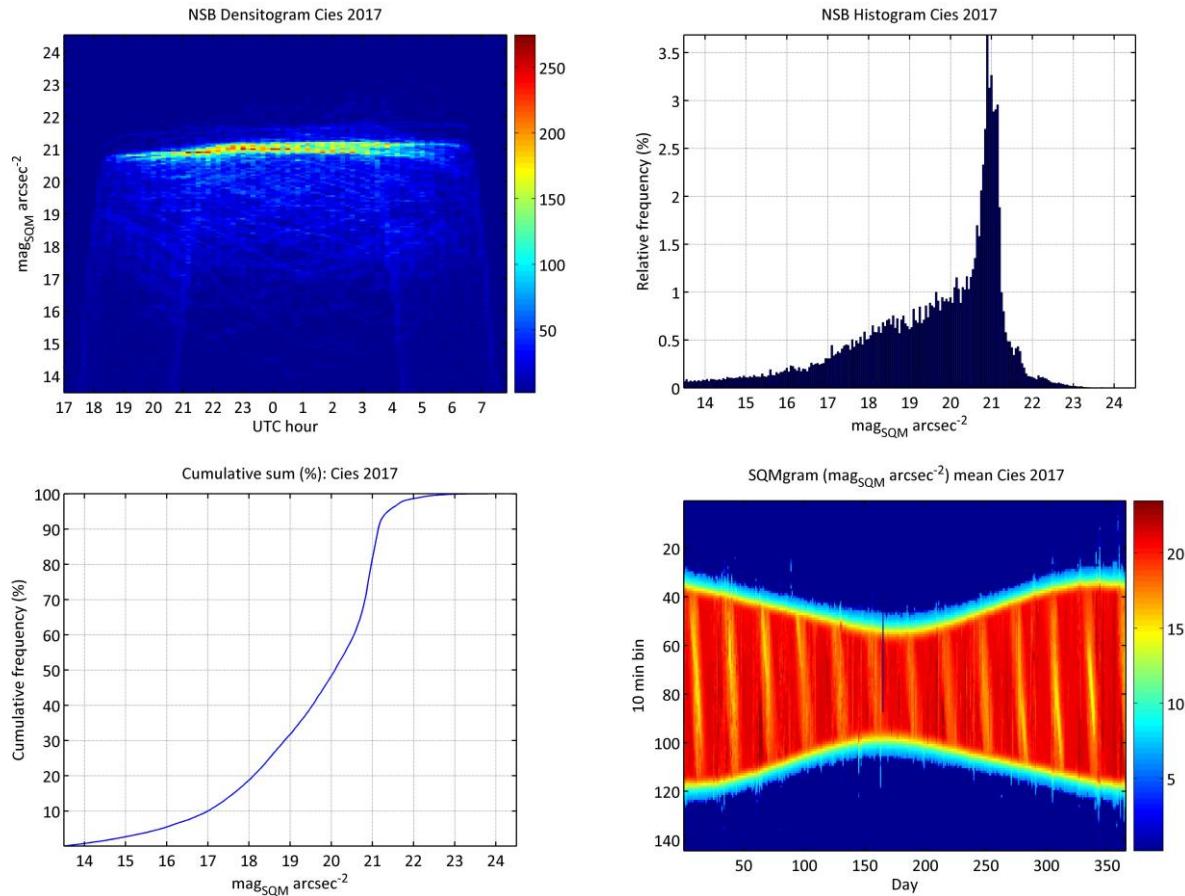


De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## Estación das ILLAS CÍES

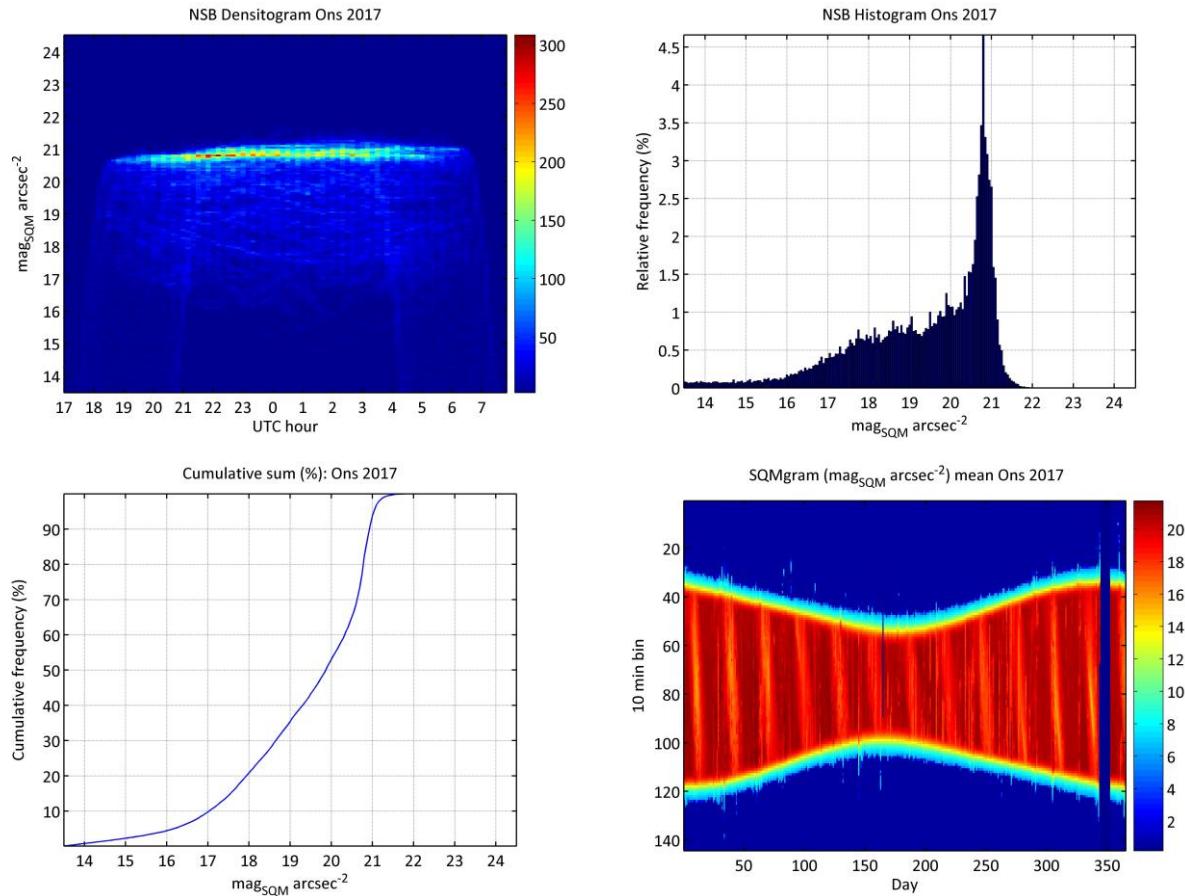


De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## Estación da ILLA DE ONS

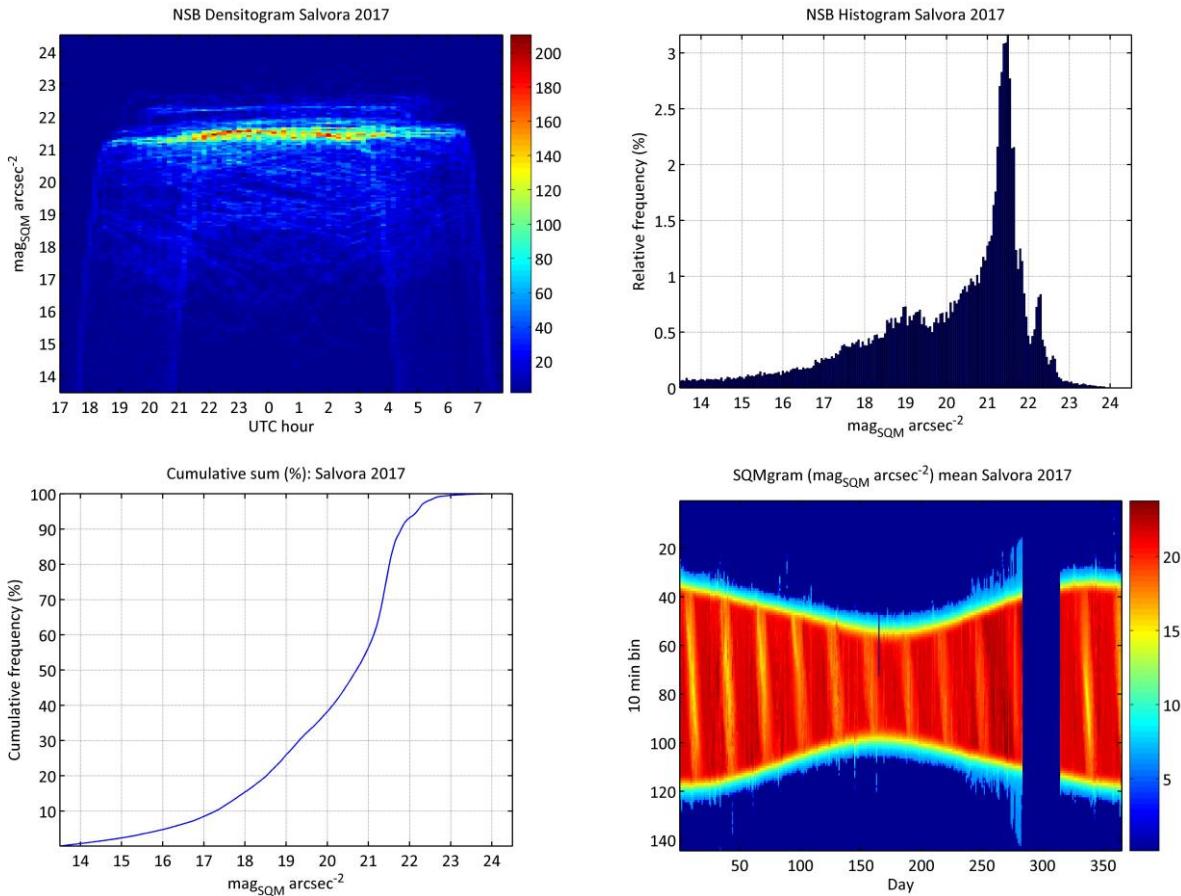


De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## Estación da Illa de SÁLVORA

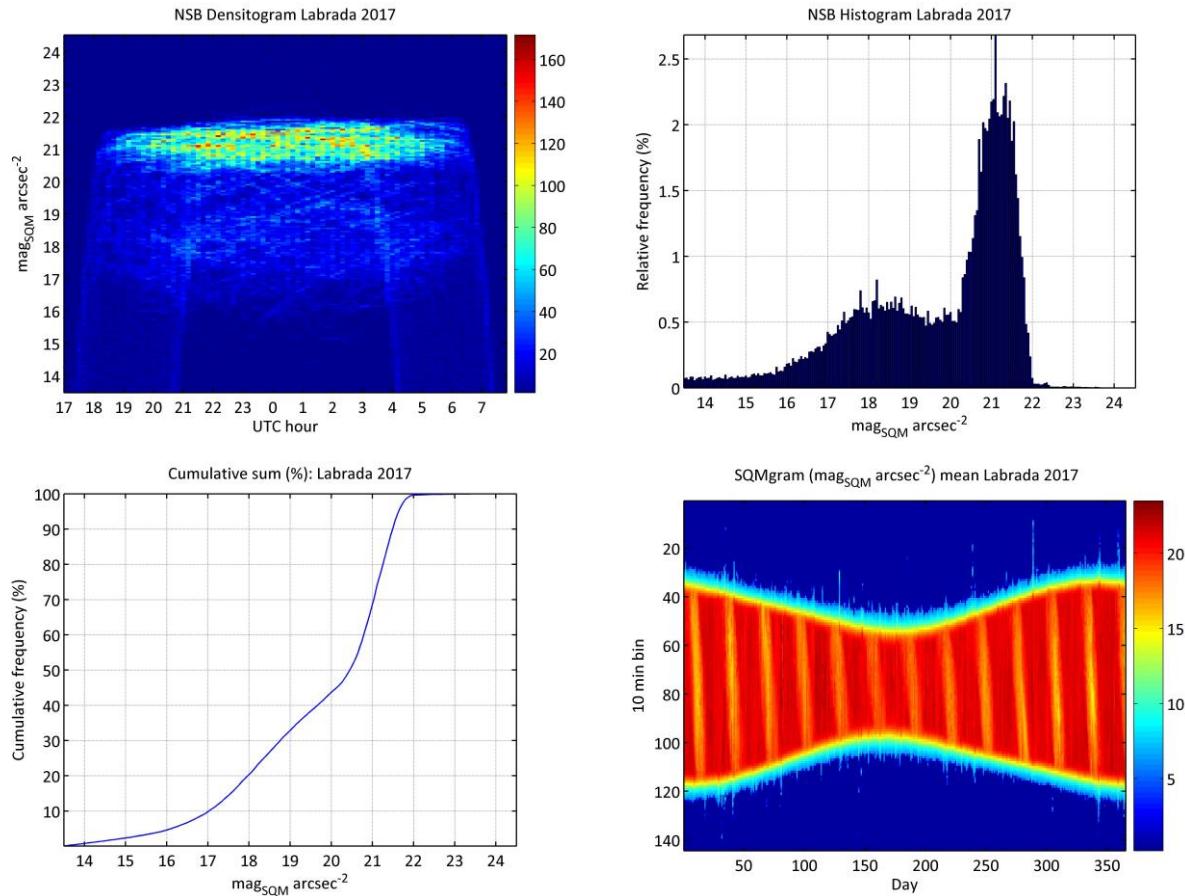


De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## Estación de LABRADA

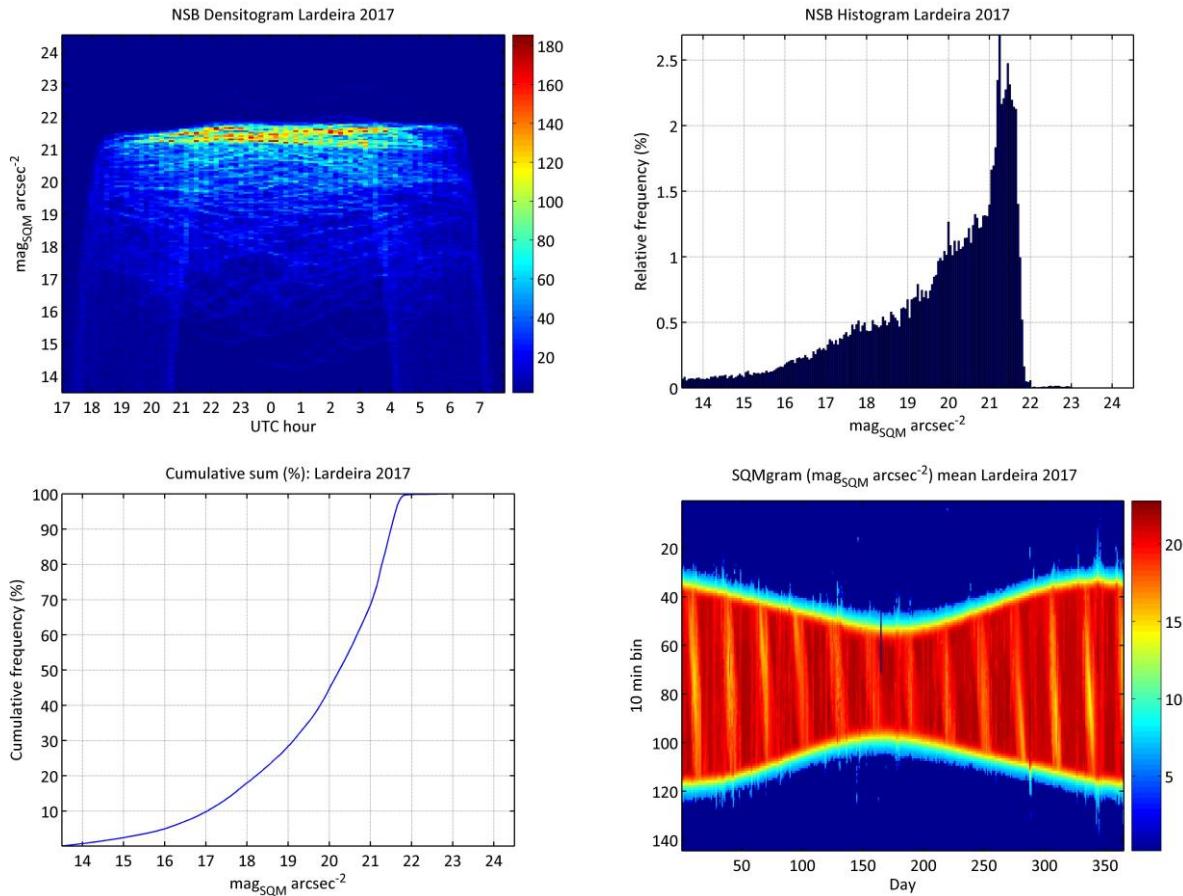


De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## Estación de LARDEIRA

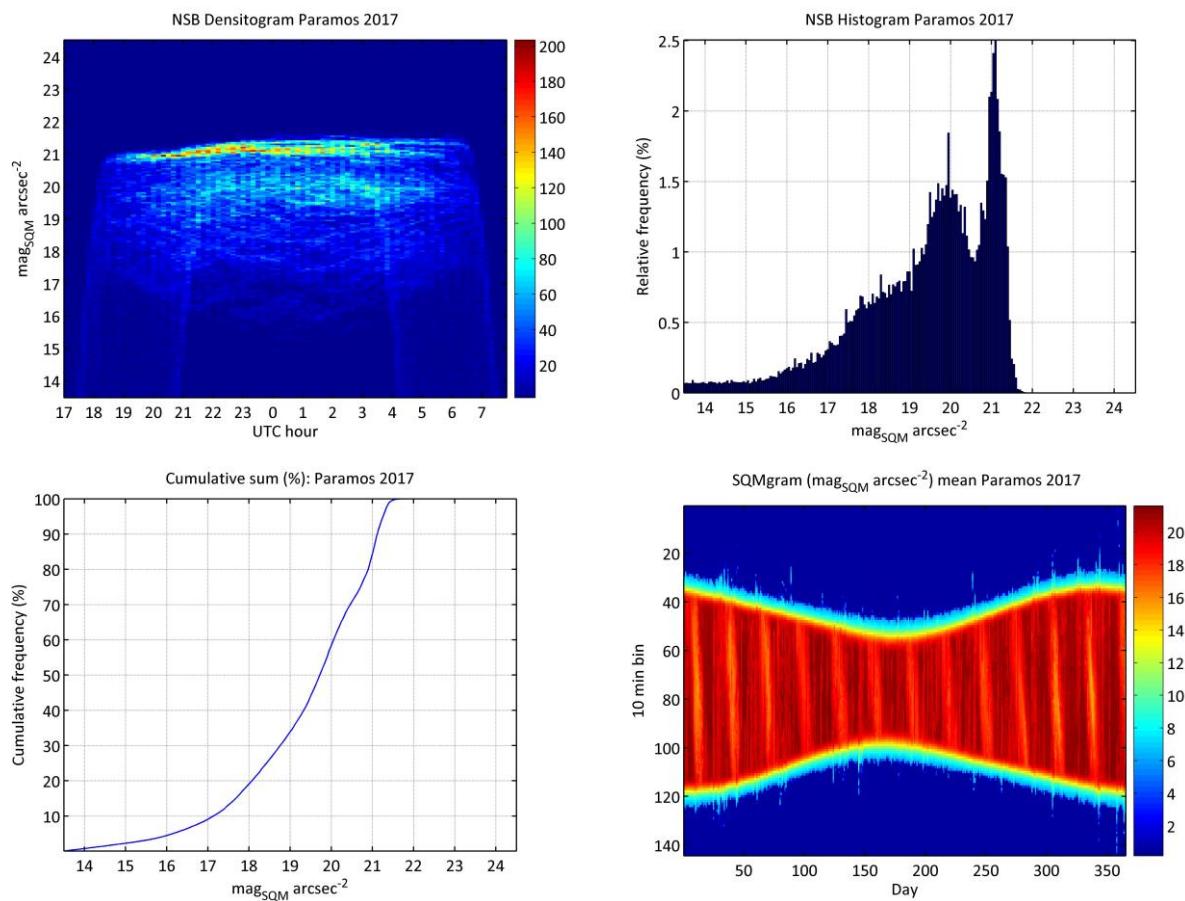


De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## Estación de PARAMOS

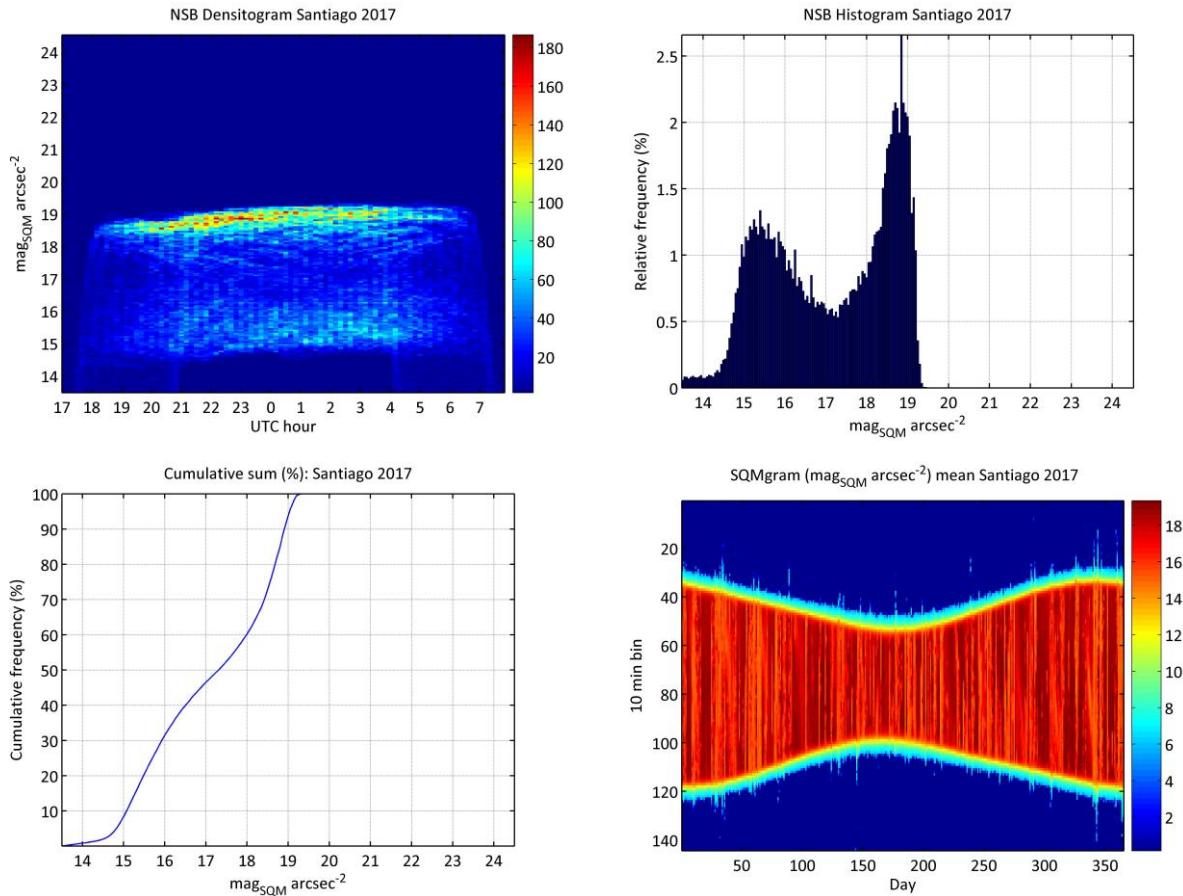


De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## Estación de SANTIAGO DE COMPOSTELA

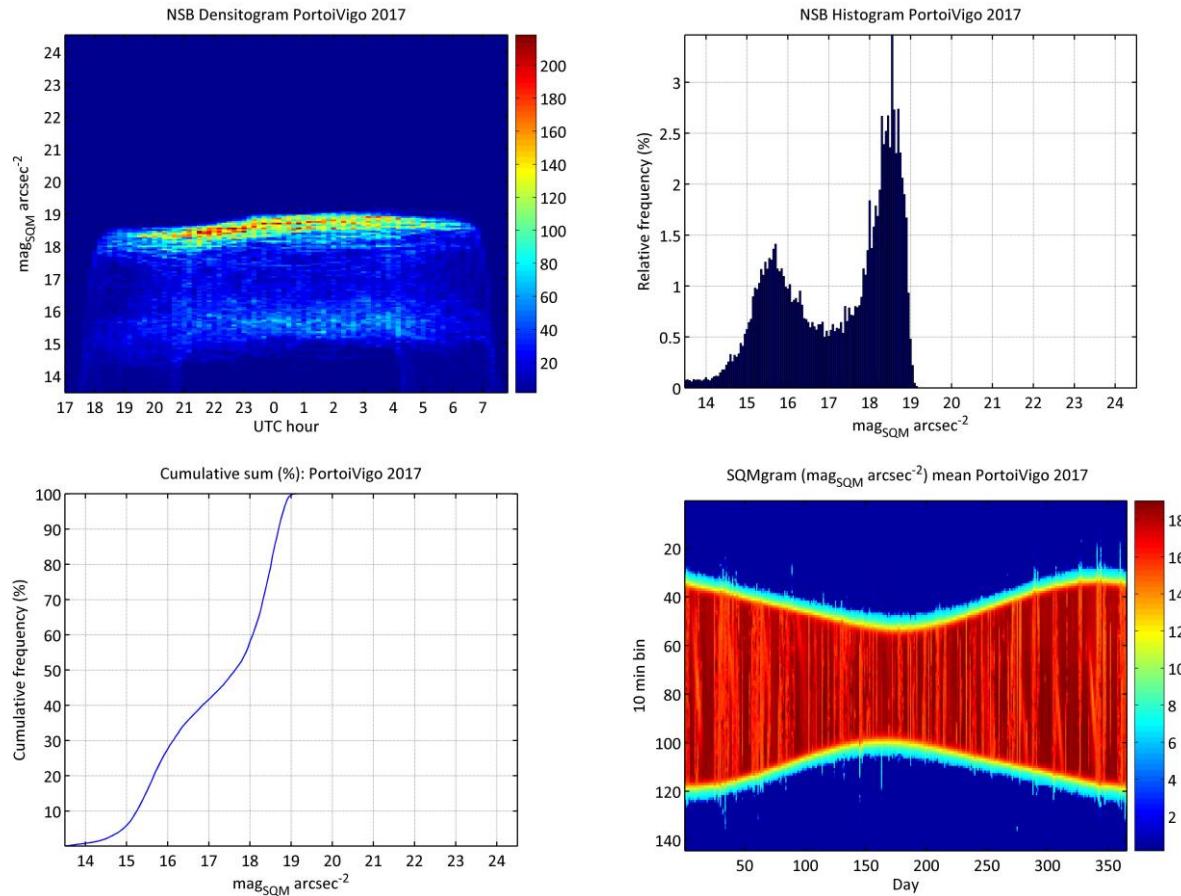


De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## Estación do PORTO DE VIGO

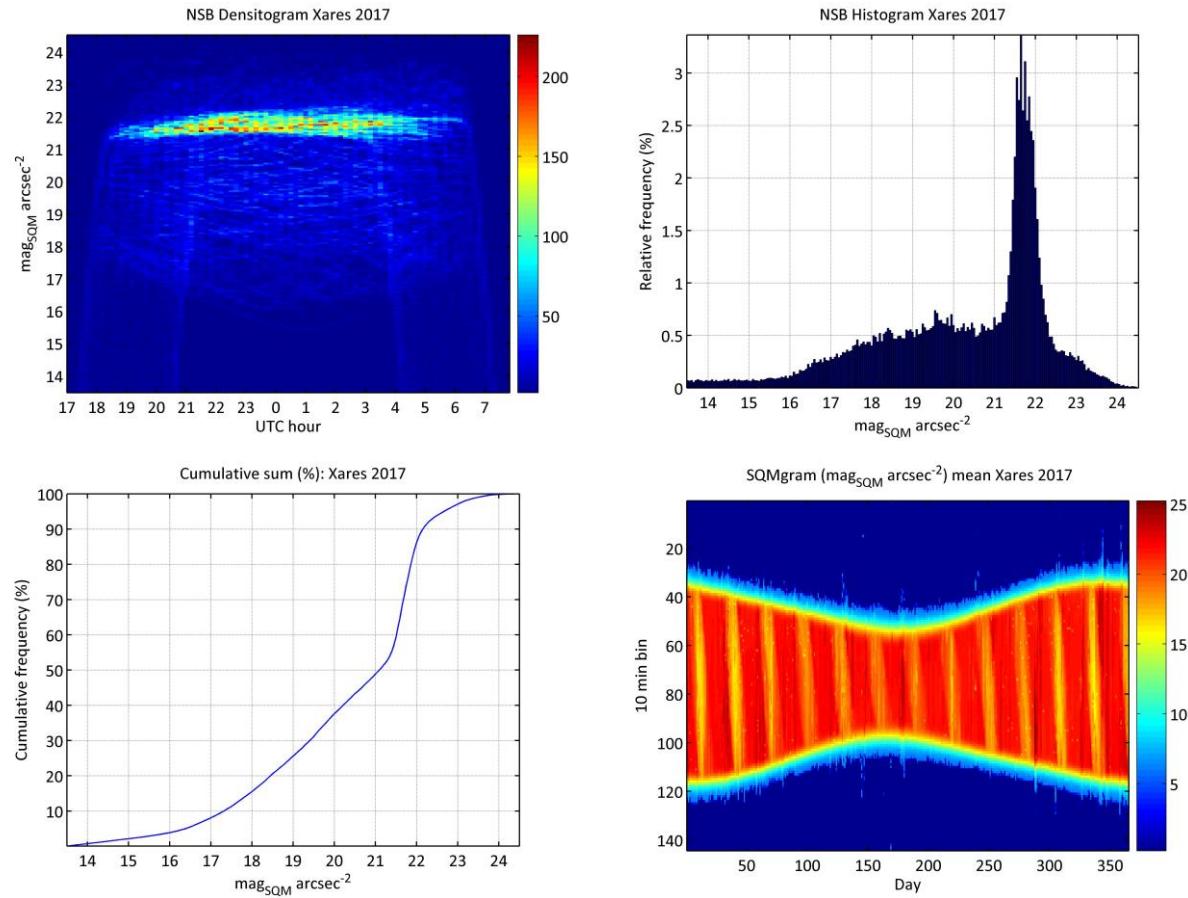


De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## Estación de XARES



De esquerda a dereita e de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa e trazas diarias (SQMgrama).

De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Densitograma, histograma, suma acumulativa y trazas diarias (SQMgrama).

From left to right and from top to bottom: Density plot, histogram, cumulative sum and daily plot (SQMgram).

## 5. Unidades e sistemas de medida - Unidades y sistemas de medida -

### Units and measurement systems

**[GA]** Denomínase *brillo do ceo* á radiancia espectral (unidades  $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{nm}^{-1}$ ) de cada punto da bóveda celeste, integrada nunha banda fotométrica pre establecida, sendo o resultado a radiancia global ponderada, medida en  $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ . Existen diversas bandas fotométricas para a avaliación do brillo do ceo nas diferentes rexións do espectro, entre as que se contan as amplamente utilizadas B, V, e R de Johnson-Cousins (Bessel, 1979). Outra banda de particular interese é a correspondente á función de eficiencia visual fotópica  $V(\lambda)$  (CIE, 1990), que describe a sensibilidade espectral do sistema visual humano. Cando a radiancia integrada se mide na banda  $V(\lambda)$ , escalada polo factor 683 lm/W (lm= *lumen*), o resultado é a luminancia (unidades lm sr<sup>-1</sup> ou cd m<sup>-2</sup>, con cd= *candela*, unidade fundamental de intensidade luminosa do Sistema Internacional). A luminancia é unha magnitud física que describe aproximadamente o brillo percibido por un observador humano promedio na zona central do seu campo de visión.

O brillo do ceo adoita expresarse tamén nunha escala logarítmica negativa con unidades de *magnitudes por segundo cadrado de arco* (mag arcsec<sup>-2</sup>). A relación entre a luminancia e as magnitudes por segundo cadrado de arco soamente é exacta e xeral se a banda de observación na que se miden as magnitudes coincide estritamente coa CIE  $V(\lambda)$  (Sánchez de Miguel et al, 2017; Bará, 2017). Noutro caso a relación precisa depende do espectro das fontes de luz. A relación entre a luminancia  $L$ , medida en cd m<sup>-2</sup>, e as magnitudes por segundo cadrado de arco medidas na banda  $V(\lambda)$  da CIE,  $m_{VC}$ , vén dada por (Bará 2017):

$$L[\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}] = 10.96 \times 10^4 \times 10^{(-0.4m_{VC})}.$$

O brillo do ceo nun determinado territorio pode calcularse a partir dos datos de emisións luminosas captadas polos satélites situados en órbita baixa terrestre, utilizando modelos numéricos adecuados de propagación atmosférica das emisións antropoxénicas de luz (p.ex. Garstang, 1986). A referencia máis recente, de cobertura mundial, é *The new world atlas of artificial night sky brightness* (Falchi et al, 2016a, 2016b), elaborado en base ás emisións artificiais nocturnas rexistradas polo sensor VIIRS-DNB instalado a bordo do satélite Suomi-NPP en órbita polar (Elvidge et al, 2013, 2015, 2017; NASA, 2017a, 207b, 2017c, 2017d).

Existen diversos sistemas para a medida experimental do brillo do ceo, entre eles os luminancímetros convencionais, as cámaras CCD tanto de campo estreito como de campo hemisférico *all-sky*, e un conxunto de detectores específicos de banda ancha e baixo custo (Hänel et al, 2018). Un dos detectores más extendidos, instalado nas estacións de

MeteoGalicia (MeteoGalicia, 2017) e dispoñible tamén no Laboratorio de Contaminación Lumínica da Universidade de Santiago de Compostela (USC, 2017), é o SQM (Unihedron: Alberta, Canada). É un dispositivo de baixo custo baseado nun conversor de irradiancia a frecuencia de alta sensibilidade tipo TSL237 (TAOS, USA) con corrección de temperatura. O seu campo visual ten perfil aproximadamente gaussiano con anchura a metade de altura de 20°. Un filtro Hoya CM-50 limita o seu paso de banda espectral á rexión dos 400-650 nm (paso de banda global, ao 50% da máxima sensibilidade) (Cinzano, 2005; Pravettoni et al, 2016).

Os detectores SQM-LR instalados en diversas estacións de MeteoGalicia adquieren datos do brillo cenital do ceo a razón de un por minuto durante as 24 horas do día. As medidas de brillo veñen dadas en unidades logarítmicas negativas (magnitudes por segundo de arco ao cadrado,  $\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$ , ou mpsas, *magnitudes per square arcsecond*), na banda fotométrica propia do SQM. As variables temporais están indicadas en Tempo Universal (UTC). Os datos que se facilitan neste informe teñen xa restadas 0.1 mpsas para corrixir as lecturas en bruto dos detectores das perdas de radiación que se producen por reflexión nas xanelas de vidro que os protexen.

Información adicional sobre estas variables e as ferramentas para visualizalas pode atoparse en Puschnig et al (2014a, 2014b), Bará (2016), and Posch et al (2018).

**[ES]:** Se denomina *brillo del cielo* a la radiancia espectral (unidades  $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{nm}^{-1}$ ) de cada punto de la bóveda celeste, integrada en una banda fotométrica preestablecida, siendo el resultado la radiancia global ponderada, medida en  $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ . Existen diversas bandas fotométricas para la evaluación del brillo del cielo en las diferentes regiones del espectro, entre las que se cuentan las ampliamente utilizadas B, V, y R de Johnson-Cousins (Bessel, 1979). Otra banda de particular interés es la correspondiente a la función de eficiencia visual fotópica  $V(\lambda)$  (CIE, 1990), que describe la sensibilidad espectral del sistema visual humano. Cuando la radiancia integrada se mide en la banda  $V(\lambda)$ , escalada por el factor 683 lm/W (lm=lumen), es resultado es la luminancia (unidades lm sr<sup>-1</sup> o cd m<sup>-2</sup>, con cd=candela, unidad fundamental de intensidad luminosa del Sistema Internacional). La luminancia es una magnitud física que describe aproximadamente el brillo percibido por un observador humano promedio en la zona central de su campo visual.

El brillo del cielo se suele expresar también en una escala logarítmica negativa con unidades de *magnitudes por segundo cuadrado de arco* (mag arcsec<sup>-2</sup>). La relación entre la luminancia y las magnitudes por segundo cuadrado de arco solamente es exacta y general si la banda de observación en la que se miden las magnitudes coincide estrictamente con la CIE  $V(\lambda)$  (Sánchez de Miguel et al, 2017; Bará, 2017). En cualquier otro caso la relación precisa depende del espectro de las fuentes de luz. La relación entre la luminancia  $L$ , medida en cd m<sup>-2</sup>, y las magnitudes por segundo cuadrado de arco medidas en la banda  $V(\lambda)$  de la CIE,  $m_{VC}$ , vienen dada por (Bará 2017):

$$L[cd \cdot m^{-2}] = 10.96 \times 10^4 \times 10^{(-0.4m_{vc})}.$$

El brillo del cielo en un determinado territorio puede calcularse a partir de los datos de emisiones luminosas captadas por los satélites situados en órbita baja terrestre, utilizando modelos numéricos adecuados de propagación atmosférica de las emisiones antropogénicas de luz (p.ex. Garstang, 1986). La referencia más reciente, de cobertura mundial, es *The new world atlas of artificial night sky brightness* (Falchi et al, 2016a, 2016b), elaborado en base a las emisiones artificiales nocturnas registradas por el sensor VIIRS-DNB instalado a bordo del satélite Suomi-NPP en órbita polar (Elvidge et al, 2013, 2015, 2017; NASA, 2017a, 207b, 2017c, 2017d).

Existen diversos sistemas para la medida experimental del brillo del cielo, entre los que se encuentran los luminancímetros convencionales, las cámaras CCD tanto de campo estrecho como de campo hemisférico *all-sky*, y un conjunto de detectores específicos de banda ancha y bajo coste (Hänel et al, 2018). Uno de los detectores más utilizados, instalado en las estaciones de MeteoGalicia (MeteoGalicia, 2017) y disponible también en el Laboratorio de Contaminación Lumínica de la Universidade de Santiago de Compostela (USC, 2017), es el SQM (Unihedron: Alberta, Canada). Es un dispositivo de bajo coste basado en un conversor de irradiancia a frecuencia de alta sensibilidad tipo TSL237 (TAOS, USA) con corrección de temperatura. Su campo visual tiene perfil aproximadamente gaussiano con anchura a mitad de altura de 20°. Un filtro Hoya CM-50 limita su paso de bandapectral a la región de los 400-650 nm (paso de banda global, al 50% de la máxima sensibilidad) (Cinzano, 2005; Pravettoni et al, 2016).

Los detectores SQM-LR instalados en diversas estaciones de MeteoGalicia adquieren datos del brillo cenital del cielo a razón de uno por minuto durante las 24 horas del día. Las medidas de brillo están dadas en unidades logarítmicas negativas (magnitudes por segundo de arco al cuadrado,  $m_{SQM}/\text{arcsec}^2$ , ou mpsas, *magnitudes per square arcsecond*), en la banda fotométrica propia del SQM. Las variables temporales están indicadas en Tiempo Universal (UTC). Los datos que se facilitan en este informe ya tienen restadas 0.1 mpsas para corregir las lecturas en bruto de los detectores de las pérdidas de radiación que se producen por reflexión en las ventanas de vidro que los protegen.

Información adicional sobre estas variables y las herramientas para visualizarlas está disponible en Puschnig et al (2014a, 2014b), Bará (2016), and Posch et al (2018).

**[EN]:** *Sky brightness* is a short-hand term for the spectral radiance (units  $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{nm}^{-1}$ ) of every point of the celestial vault, integrated within a predefined spectral band, resulting in an overall weighted radiance of units  $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ . Several photometric bands are commonly used to evaluate the sky brightness in different spectral regions, including the well-known Johnson-Cousins' B, V, and R (Bessel, 1979). Another particularly interesting band is that described by the photopic luminous efficiency function  $V(\lambda)$  (CIE, 1990), that corresponds to

the spectral sensitivity of the human visual system under photopic light exposure. If the weighted radiance in the  $V(\lambda)$  band is scaled by the photopic luminous efficacy factor 683 lm/W (lm=lumen), the result is the luminance (in units lm sr<sup>-1</sup> or cd m<sup>-2</sup>, where cd=candela is the fundamental unit for light intensity in the international system, SI). Luminance is a physical magnitude that approximately describes the brightness perceived by an average human observer in the central region of her visual field.

Alternatively, the sky brightness can be expressed in a negative logarithmic scale with units of *magnitudes per square arcsecond* (mag arcsec<sup>-2</sup>). The relationship between luminance and magnitudes per square arcsecond is exact only if the spectral band in which magnitudes are measured is strictly coincident with the CIE  $V(\lambda)$  one (Sánchez de Miguel et al, 2017; Bará, 2017). Otherwise the precise relationship between these two set of units depends on the spectrum of the light. Luminance in cd m<sup>-2</sup> and magnitudes per square arcsecond in the CIE  $V(\lambda)$  band,  $m_{VC}$ , are related as (Bará 2017):

$$L[cd \cdot m^{-2}] = 10.96 \times 10^4 \times 10^{(-0.4m_{VC})} .$$

The night sky brightness at any given site can be theoretically calculated from light emission data recorded by several satellites in low-Earth orbit, using suitable numerical models to account for the atmospheric propagation of the anthropogenic light emissions (e.g. Garstang, 1986). The most recent reference, with worldwide coverage, is *The new world atlas of artificial night sky brightness* (Falchi et al, 2016a, 2016b), computed from the artificial emissions of light at night recorded by the VIIRS-DNB sensor onboard the polar orbiting Suomi-NPP satellite (Elvidge et al, 2013, 2015, 2017; NASA, 2017a, 207b, 2017c, 2017d).

Different devices can be used for measuring the sky brightness, among them conventional luminance meters, CCD cameras with either narrow or hemispheric (all-sky) field of view, as well as several low-cost dedicated detectors of broad spectral sensitivity. One of the most widely used, installed in fourteen MeteoGalicia automated weather stations (MeteoGalicia, 2017) and also available at the Light Pollution Lab of Universidade de Santiago de Compostela (USC, 2017), is the SQM (Unihedron: Alberta, Canada). This is a low-cost radiometer based on a high sensitivity irradiance-to-frequency conversion chip TSL237 (TAOS, USA) with temperature correction. Its field of view has an approximately Gaussian profile with full-width at half-maximum 20°. A Hoya CM-50 filter limits the spectral passband to 400-650 nm (full SQM passband at 50% of maximum sensitivity) (Cinzano, 2005; Pravettoni et al, 2016).

The SQM-LR detectors installed in the MeteoGalicia weather stations record zenithal sky brightness data at a rate of one per minute throughout the whole day. The brightness measurements are given in negative logarithmic units (magnitudes per square arcsecond in the SQM photometric band, mag<sub>SQM</sub>/arcsec<sup>2</sup>). Time data are given in UTC. The results displayed in this report are already corrected from the 0.1 mag<sub>SQM</sub>/arcsec<sup>2</sup> losses due to the reflections on the glass windows of the protective housings.

Additional information on these variables and their visualization tools can be found in Puschnig et al (2014a, 2014b), Bará (2016), and Posch et al (2018).

## 6. Referencias - References

- Bará S, 2016, Anthropogenic disruption of the night sky darkness in urban and rural areas, *Royal Society Open Science* 3: 160541. doi: 10.1098/rsos.160541. Published 19 October 2016.
- Bará S, 2017, Variations on a classical theme: On the formal relationship between magnitudes per square arcsecond and luminance, *International Journal of Sustainable Lighting IJSL*, 104-111. <https://doi.org/10.26607/ijsl.v19i2.77>
- Bessell MS, 1979, UBVRI photometry II: The Cousins VRI system, its temperature and absolute flux calibration, and relevance for two-dimensional photometry. *Publ. Astron. Soc. Pac.* 91:589–607.
- CIE, Commision Internationale de l'Éclairage, 1990, CIE 1988 2° SpectralLuminous Efficiency Function for Photopic Vision. Vienna: Bureau Central de la CIE.
- Cinzano P, 2005, Night Sky Photometry with Sky Quality Meter. Internal Report No.9, v.1.4. Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso (ISTIL).
- Elvidge C, Baugh K, Zhizhin M, Chi Hsu F. 2013, Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network 2013* v. 35, p. 62-69. <http://dx.doi.org/10.7125/APAN.35.7>
- Elvidge C, Baugh K, Chi Hsu F, Zhizhin M, Ghosh T, 2015, VIIRS Nighttime Light Development 2015
- Elvidge CD, Baugh K, Zhizhin M, Chi Hsu F, Ghosh T, 2017, VIIRS night-time lights, *International Journal of Remote Sensing*, 38:21, 5860-5879, DOI: 10.1080/01431161.2017.1342050
- Falchi F, Cinzano P, Duriscoe D, Kyba CCM, Elvidge CD, Baugh K, Portnov B, Rybnikova NA, Furgoni R, 2016a, The new world atlas of artificial night sky brightness, *Science Advances*, 10 Jun 2016 : e1600377 DOI: 10.1126/sciadv.1600377
- Falchi F, Cinzano P, Duriscoe D, Kyba CCM, Elvidge CD, Baugh K, Portnov B, Rybnikova NA, Furgoni R, 2016b, Supplement to the New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness, GFZ Data Services (2016); <http://doi.org/10.5880/GFZ.1.4.2016.001>
- Garstang RH, 1986, Model for artificial night-sky illumination. *Publ. Astron. Soc. Pac.* 98:364-375.
- Hänel A , Posch T , Ribas SJ , Aubé M , Duriscoe D , Jechow A , et al, 2018, Measuring night sky brightness: methods and challenges. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 205:278–90.
- MeteoGalicia, 2017, <http://www.meteogalicia.gal/Caire/brillodoceo.action>
- NASA, 2017a, [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/NPP/main/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/NPP/main/index.html)

NASA, 2017b, [https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download\\_dnb\\_composites.html](https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html)

NASA, 2017c, [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/research/experiments/86.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/86.html)

NASA, 2017d, <https://eol.jsc.nasa.gov/>

Posch T, Binder F, Puschnig J, 2018,, Systematic measurements of the night sky brightness at 26 locations in Eastern Austria, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 211: 144–165 <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2018.03.010>

Pravettoni M, Strepparava D, Cereghetti N, Klett S, Andretta M, Steiger M, 2016, Indoor calibration of Sky Quality Meters: Linearity, spectral responsivity and uncertainty analysis. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 181:74–86.

Puschnig J , Posch T , Uttenhaller S, 2014, Night skyphotometry andspectroscopy per- formed at the vienna university observatory. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 139:64–75.

Puschnig J , Schwope A , Posch T , Schwarz R, 2014, The night sky brightness at pots- dam-Babelsberg including overcast and moonlit conditions. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 139:76–81 .

Sánchez de Miguel A, Aubé M, Zamorano J, Kocifaj M, Roby J, Tapia C, 2017, Sky Quality Meter measurements in a colour-changing world. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 467(3):2966–2979. <https://doi.org/10.1093/mnras/stx145>

USC, 2017, [http://webspersoais.usc.es/persoais/salva.baral/LP\\_Lab.html](http://webspersoais.usc.es/persoais/salva.baral/LP_Lab.html)