

PARALAJES

nº 1 2016

La revista del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)



LUCES
del Universo

“HIGHLIGHTS”
del IAC

Luminiscencias
ATMOSFÉRICAS

Airglows
Luz zodiacal
Auroras

SOLARIGRAFÍA

Asier Hernández González

alumno de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Europea de Canarias

PARALAJES

nº 1 2016

Paralajes es una publicación editada por la Unidad de Comunicación y Cultura Científica (UC3) del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)

Dirección : Rafael Rebolo

Coordinación y redacción : Carmen del Puerto

Colaboradores : Juan Antonio Belmonte, Alfred Rosenberg, Francisco Sánchez, Miquel Serra-Ricart, Antonia María Varela, Manuel Vázquez Abeledo y Maciej Lukasz Zapiór

Traducciones : Elena Alonso

Fotografías y composiciones artísticas : Miguel Briganti, Inés Bonet, Juan Carlos Casado, Luis Chinarro, ESA, GONG, Asier Hernández González, Göran Scharmer/Mats Löfdahl (SST, ISP), Daniel López, NASA, Gabriel Pérez Díaz, PLANK, SDO, Manuel Vázquez Abeledo y Maciej Lukasz Zapiór

Diseño : Inés Bonet y Gabriel Pérez Díaz

Depósito Legal : TF 917-2015
ISSN : 2444-8990

ÍNDICE

EDITORIAL: Paralajes, midiendo el Universo	5
LUCES DEL UNIVERSO:	6
Fenómenos luminosos	8
Luz eclipsada	10
Luz cósmica	12
Luz y Astrofísica	14
“HIGHLIGHTS” DEL IAC:	16
30 años de resultados científicos	16
LUMINISCENCIAS ATMOSFÉRICAS:	28
Cuando el cielo se viste de color	28
AIRGLOWS DESDE LOS OBSERVATORIOS DE CANARIAS:	34
Pruebas de la calidad del cielo	34
LUZ ZODIACAL:	36
El “falso crepúsculo” de los árabes	36
AURORAS POLARES:	41
Magia en Islandia y sur de Groenlandia	41
REGISTROS DE AURORAS BOREALES:	44
Reconstruyendo el pasado (1600 - actualidad)	44
SOLARIGRAFÍA:	48
Congelando las trazas del Sol en el cielo	48



Paralajes, midiendo el Universo

Paralajes es la nueva revista de divulgación del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), centro de excelencia “Severo Ochoa”, que se edita tanto en papel como digitalmente y que pretende ser un complemento a la información y a la divulgación que este centro hace por otras vías, entre ellas la página web y las redes sociales. Editada por la Unidad de Comunicación y Cultura Científica (UC3), esta publicación es una más de las acciones que el IAC lleva a cabo para el cumplimiento de uno de sus fines: la difusión de la Ciencia.

¿Por qué este nombre? La *paralaje* es un término griego, femenino, que significa “cambios” y que utilizamos en Astronomía para referirnos a la desviación angular de la posición aparente de una estrella en el cielo producida por una variación en la posición del observador, lo cual nos permite saber a qué distancia se encuentra esa estrella si conocemos la distancia entre los distintos lugares de observación. Aunque limitado a estrellas próximas, durante mucho tiempo fue un método muy empleado, hasta que la astrónoma estadounidense Henrietta Leavitt nos proporcionó, a principios del siglo XX, una “regla” para medir grandes distancias en el Universo, un método al que se han ido añadiendo otros más precisos con el tiempo.

El contenido de *Paralajes* tenderá, en principio, a ser monográfico, con un denominador común, pero con una mirada poliédrica sobre los temas. Intentaremos aunar perspectivas diversas, en un humilde intento de construir una cultura científica y de promover la ciencia y la tecnología en nuestras sociedades como condición para el incremento generalizado del conocimiento.

En 2015 celebramos el Año Internacional de la Luz, “mensajera” de los fenómenos astrofísicos, así como el 30 aniversario de la inauguración oficial de la sede central del IAC y de

los Observatorios de Canarias. Por este motivo, organizamos en Tenerife y La Palma una exposición bajo el título “Luces del Universo” y contamos con la presencia de S.M. el Rey, quien inauguró nuevos telescopios en el Observatorio del Teide.

Este primer número de *Paralajes* es un guiño a esas efemérides pasadas, con una serie de artículos de divulgación relacionados con fenómenos luminosos astronómicos y con los “highlights” del IAC en esos treinta años de historia. Estos hitos científicos fueron presentados en la exposición “Luces del Universo” junto a los obtenidos por otras instituciones científicas con los telescopios de las Islas.

Sin duda alguna, el IAC y los Observatorios de Canarias deben hoy su existencia a la sociedad que los ha apoyado siempre. De ahí nuestros esfuerzos, tanto en el pasado como en el presente, por compartir y transmitir a esa sociedad lo que hacemos mediante actividades de comunicación y divulgación científica. Ahora, también, a través de nuestra revista.

RAFAEL REBOLO / Director del IAC



“Luces del Universo”

Una exposición para celebrar los 30 años de los Observatorios de Canarias

En su *Tratado de Óptica* (1730), Isaac Newton se refirió a las dificultades de la observación astronómica debidas a la atmósfera terrestre y sugirió que los telescopios debían colocarse “en la cima de las montañas más altas, por encima de las nubes más espesas”. En 1856, el astrónomo británico Charles Piazzi Smyth comprobó que, efectivamente, los sitios de gran altitud ofrecían claras ventajas para la observación astronómica. Llegó a esta conclusión después de observar a diversos niveles en Tenerife, desde Guajara y Altavista, junto al Pico del Teide.

Posteriormente, el astrónomo francés Jean Mascart, que viajó a Tenerife para observar el cometa Halley en 1910, propuso la creación de un observatorio internacional en la montaña Guajara, proyecto que se frustró al iniciarse la Primera Guerra Mundial.

Fue casi cincuenta años después, con motivo del eclipse de Sol de 1959, visible como total en Canarias, cuando astrónomos de todo el mundo visitaron las Islas y el interés por instalar en ellas un observatorio permanente volvió a ponerse de manifiesto.

Como resultado de este interés, científicos españoles liderados por el astrofísico Francisco Sánchez midieron las condiciones astronómicas del cielo de Canarias para la moderna astronomía y, convencidos de su excelente calidad, promovieron, dentro y fuera de nuestras fronteras, este recurso natural, poniéndolo en valor.

El 2 de junio de 1979, se firmaron en Santa Cruz de La Palma los Acuerdos Internacionales de Cooperación en Materia de Astrofísica, que abrieron los Observatorios de Canarias a la comunidad astrofísica internacional, y en 1982 se creó por Real Decreto el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC).

En 1985 fueron inaugurados la sede central del IAC en La Laguna (Tenerife), el Observatorio del Teide, en Izaña (Tenerife), y el Observatorio del Roque de los Muchachos, en Garafía (La Palma), por los Reyes de España, en presencia de monarcas y miembros de familias reales de cinco países (España, Dinamarca, Reino Unido, Países Bajos y Suecia) y otros dos jefes de Estado (Alemania e Irlanda). También asistieron doce ministros de países europeos y una distinguida representación de la comunidad científica, encabezada por cinco premios nobel.

La exposición “Luces del Universo” celebró esa efeméride y la historia -pasado, presente y futuro- de la Astrofísica en Canarias.

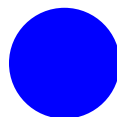
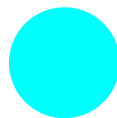
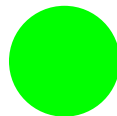
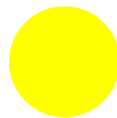
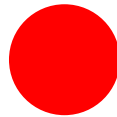
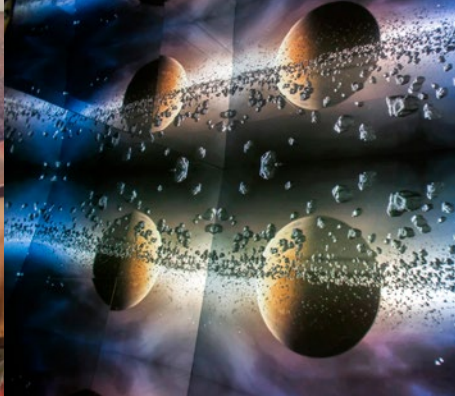


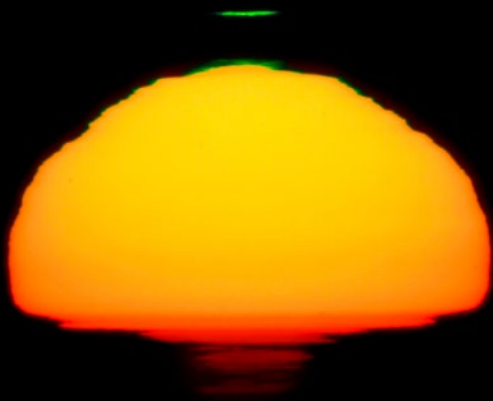
EXCELENCIA SEVERO OCHOA

Luces del Universo

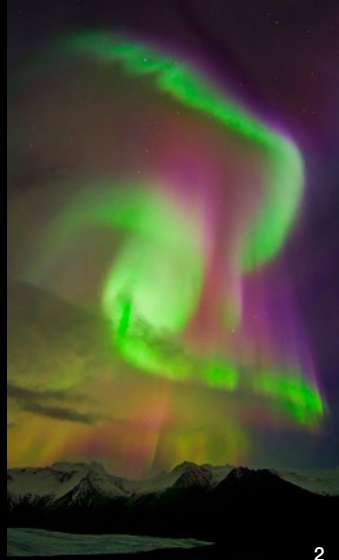
30 años de los Observatorios de Canarias







1



2



3



4



5



6



7

FENÓMENOS LUMINOSOS

No siempre son necesarios sofisticados instrumentos para estudiar y disfrutar del cielo. Muchas veces son otras las claves, tales como estar en un lugar privilegiado o entender qué es lo que estamos viendo. Algunos de los fenómenos luminosos que podemos observar en lugares privilegiados del planeta son el resultado de la interacción entre la luz que proviene del Universo (especialmente del Sol, nuestra estrella más cercana) y uno de los dos escudos que nos protegen de su violenta naturaleza: la atmósfera y el campo magnético terrestre.

RAYOS VERDE Y ROJO EN EL SOL

A veces es la propia atmósfera terrestre la que se comporta como un sistema óptico que es capaz de sacar los colores al mismísimo Sol. Este fenómeno se produce debido a un efecto de refracción de la luz solar en el que la atmósfera actúa como un prisma que separa la luz en colores. Los rayos de luz procedentes del Sol siguen trayectorias diferentes según su color. La refracción afecta más a la luz de alta frecuencia (verde/ azul) que a la de baja frecuencia (roja/naranja). Por ese motivo, el Sol es dividido por la atmósfera en infinitas imágenes según sus colores, mostrándonos desde su imagen más verde en la parte superior a la más roja en la inferior.

1. Imagen de rayos verde y rojo en el Sol, obtenida desde el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Créditos: Daniel López/IAC.

AURORAS

Sólo desde las regiones polares de nuestro planeta se observan las auroras, un fenómeno luminoso espectacular producido por la actividad solar, que aparece ante nuestros ojos como cortinas luminosas de tonalidades diversas y cambiantes. Se producen cuando partículas muy energéticas originadas en el Sol y cargadas eléctricamente alcanzan la atmósfera de la Tierra. La entrada de estas partículas está dirigida por el campo magnético terrestre y, por ello, solo pueden penetrar por el Polo Norte (auroras boreales) y por el Polo Sur (auroras australes).

2. Aurora boreal sobre un glaciar en Islandia. Créditos: Daniel López - elcielodecanarias.com.

AIRGLOW

En este fenómeno luminoso, la energía de la luz solar almacenada en la atmósfera terrestre es emitida en forma de tenue luminiscencia verdosa, prácticamente invisible a simple vista y perceptible desde cualquier lugar del planeta, a diferencia de las auroras, que son más frecuentes a altas latitudes, y siempre que la calidad y oscuridad del cielo lo permitan. Esta luminosidad, como la del *gegenschein* (fenómeno físico en el que la luz solar es reflejada por el polvo interplanetario), nada tienen que ver con la contaminación lumínica, sino todo lo contrario, ya que para su observación se requieren cielos muy oscuros. Las nuevas técnicas de astrofotografía han facilitado su detección desde tierra, siendo en los últimos años un fenómeno codiciado y perseguido por muchos astrofotógrafos.

3. Airglow, con los telescopios MAGIC en primer plano, observado desde el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Créditos: Daniel López/IAC.

5. Gegenschein y otros fenómenos luminosos observados desde el Observatorio del Teide (Tenerife). Créditos: Juan Carlos Casado - staryearth.com.

LUZ ZODIACAL

Nuestro sistema planetario se formó hace 4.800 millones de años a partir de una nube de gas (principalmente hidrógeno y helio) y polvo (restos de otras estrellas) que colapsó por efecto de la gravedad. En el centro se formó nuestra estrella, el Sol, y de los restos que giraban en un disco a su alrededor se formaron los planetas. Aún hoy podemos ver la luz solar reflejada en los restos de materia que permanece flotando: la Luz Zodiacal. Se presenta como un resplandor tenue y difuso, que adopta forma triangular y que se extiende a lo largo del plano de la eclíptica, precisamente donde se encuentran las constelaciones del Zodíaco, de ahí su nombre. Al ser tan débil, esta luminosidad sólo es detectable desde lugares con muy baja contaminación lumínica y en noches sin Luna.

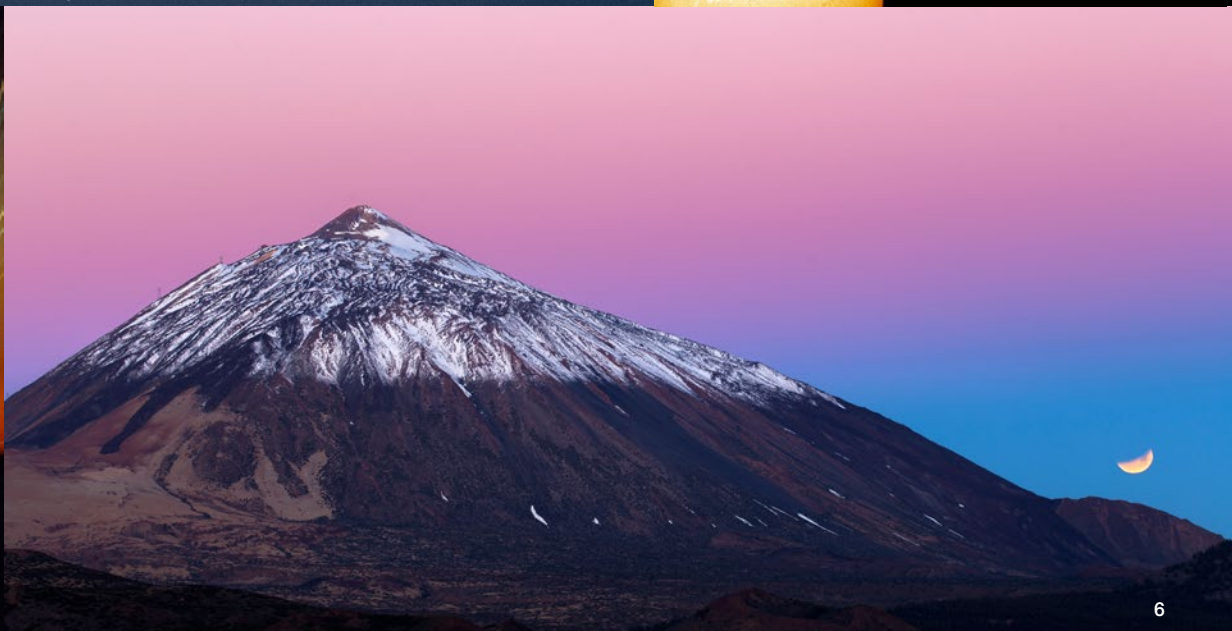
4. Imagen de luz zodiacal bajo la Vía Láctea, con el Gran Telescopio CANARIAS (GTC) a la derecha, tomada en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Créditos: Daniel López/IAC.

EL ARCOÍRIS

La Luz es la suma de todos los tipos de radiación del espectro electromagnético (desde los rayos gamma hasta las ondas de radio). Cualquier objeto astronómico emite todo tipo de luz. Nosotros solo podemos ver la Luz visible. El Arcoíris es el resultado de la dispersión de la luz al pasar por las gotas de lluvia en sus diferentes colores gracias al fenómeno de la refracción. Esta misma técnica, basada en la descomposición y estudio detallado de cada color de la luz, es utilizada en Astrofísica en la llamada "espectroscopía". Gracias a ella podemos saber, por ejemplo, la composición química de las estrellas, a qué velocidad se expande el Universo o medir los campos magnéticos en el Sol.

6. Arcoíris producido al dispersarse la luz de la Luna en gotitas de niebla sobre el Parque Nacional del Teide (Tenerife). Créditos: Daniel López - elcielodecanarias.com.

7. Arcoíris doble observado en el Parque Nacional del Teide (Tenerife). Créditos: Daniel López - elcielodecanarias.com.



LUZ ECLIPSADA

Los eclipses están, sin duda, entre los fenómenos astronómicos más espectaculares para el ser humano, siempre condicionado, por naturaleza, a observar cualquier cambio que suceda a su alrededor. Podemos imaginarnos un universo sin más planetas, sin estrellas ni galaxias, pero nunca un universo sin Sol ni Luna. Cuando se alinean en su danza cósmica, pueden producir efectos de luz maravillosos.

ECLIPSE DE SOL

En un eclipse total de Sol, la Luna tapa exactamente el disco solar. Durante unos minutos se hace la oscuridad casi total (a pleno día) y se ve la corona solar, las estrellas y los planetas más brillantes.

La razón de que este fenómeno no se produzca todos los meses es debido a que la órbita de nuestro satélite se encuentra ligeramente inclinada (unos 5 grados) respecto a la eclíptica o plano de la órbita terrestre, con lo que sólo se producirán eclipses en los momentos en que la Luna corta este plano. Se da la curiosa particularidad de que el Sol es aproximadamente unas 400 veces más grande que la Luna, pero ésta se encuentra también 400 veces más cerca, por lo que sus diámetros aparentes coinciden. Según la proporción de disco solar cubierto por la Luna, los eclipses serán anulares, quedando un fino anillo luminoso alrededor de nuestro satélite; parciales, cuando el cono de sombra lunar sólo oculta parcialmente al astro rey; y totales, en el momento en el que nuestra estrella queda completamente tapada por el disco lunar.

1. Eclipse total de Sol desde Novosibirsk (Rusia). Créditos: Juan Carlos Casado y Daniel López - staryearth.com. Shelios 2008.

2. Eclipse parcial de Sol observado desde Granadilla (Tenerife) el 20 de marzo de 2015 a través de un telescopio dotado de un filtro H-alfa. Créditos: Daniel López/IAC.

ECLIPSE DE LUNA

Un eclipse de Luna sucede cuando la Tierra se interpone entre el Sol y la Luna, provocando que esta última entre en el cono de sombra de la Tierra y, en consecuencia, se oscurezca. Para que el eclipse ocurra, los tres cuerpos celestes –la Tierra, el Sol y la Luna- deben estar exactamente alineados de modo que la Tierra bloquee los rayos solares que llegan al satélite. Por eso, los eclipses lunares sólo pueden ocurrir en la fase de luna llena.

3. La Luna durante su fase de eclipse total el día 3 de marzo de 2007, desde el Observatorio del Teide (Tenerife). Créditos: Daniel López/IAC.

6. Imagen del Eclipse de Luna del 15 de abril de 2014 sobre el pico del Teide, tomada desde un mirador próximo al Observatorio del Teide, en Tenerife. Créditos: Daniel López/IAC.

OTROS ECLIPSES

Un tránsito planetario tiene lugar cuando el Sol, el planeta en cuestión (en el Sistema Solar sólo los planetas interiores, Mercurio y Venus, pueden producir tránsitos) y la Tierra se alinean en ese orden, de forma que el planeta bloquea parte de la luz que nos llega del Astro Rey.

Durante las últimas dos décadas se han descubierto más de 2.000 exoplanetas, el 65% de ellos mediante el método del tránsito, que consiste en observar fotométricamente su estrella y detectar sutiles cambios en la intensidad de su luz cuando un planeta pasa por delante de ella.

4. Imagen del tránsito de Venus de 2004 obtenida con el Telescopio Solar Sueco (SST) en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Créditos: SST, Institute for Solar Physics.

CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

La contaminación lumínica alude a la suma de todos los efectos adversos de la luz artificial. En Astronomía, uno de los aspectos más perjudiciales es el brillo o resplandor de luz en el cielo nocturno producido por la reflexión y difusión de luz artificial en los gases y partículas de aire por el uso de luminarias inadecuadas que envían luz directa hacia el cielo o fuera de la zona que hay que iluminar y/o por los excesos de iluminación. Con la Ley del Cielo de 1988 y el Reglamento de 1992 se garantiza la Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios de Canarias. Por estas normativas se establecen, ateniéndose a las recomendaciones de la Unión Astronómica Internacional (IAU), restricciones en las iluminaciones exteriores, en el campo de la radiofrecuencia y en la instalación de industrias contaminantes, al objeto de preservar la extraordinaria calidad del cielo de Canarias para la observación astrofísica. Además, la adaptación del alumbrado público ha supuesto a las administraciones locales importantes ahorros energéticos.

5. Cielo con contaminación lumínica tomada en el municipio de Barlovento (La Palma), en 1992, antes de su adaptación a la Ley del Cielo y hoy protegido y sin contaminación. Créditos: OTPC (IAC).



1



2



4



3



5



6

LUZ CÓSMICA

Resulta un reto apasionante tratar de explicar el Universo que nos rodea a partir de un puñado de fotones: que el Universo tiene 13.800 millones de años; que está en expansión acelerada; que las galaxias están formadas por cientos de miles de millones de estrellas; que las estrellas nacen, viven y mueren; que existen exoplanetas en torno a la mayoría de las estrellas... hace falta un puñado de fotones y mucho ingenio.

EXPLOSIÓN DE LUZ

Cuando muere una gran estrella (entre ocho y varias decenas de veces más grande que el Sol), ese final no pasa desapercibido. Las estrellas más grandes mueren produciendo una violenta explosión, silenciosa en el vacío cósmico y con una luminosidad que casi llega a igualar el brillo de una galaxia entera. De los 90 elementos químicos naturales de la tabla periódica, tan sólo hasta el 26 (el Hierro) se forman en estrellas “comunes”. Los elementos químicos más pesados, como el Oro o el Uranio se forman exclusivamente durante esta impresionante explosión. Que “somos polvo de estrellas” no es una frase romántica o filosófica: es un hecho.

1. Remanente de Supernova conocido como Nebulosa del Cangrejo (M1), obtenida con el Gran Telescopio CANARIAS (GTC), en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Equipo GTC/Daniel López/IAC.

LA LUZ DE LA VÍA LÁCTEA

Podemos considerar que las galaxias son los ladrillos básicos de que está compuesto el Universo. Existe una gran variedad, desde enanas irregulares hasta elípticas gigantes, pasando por aquella en la que vivimos, una espiral muy normal. Al encontrarnos dentro de ella, la imagen que tenemos es bastante particular, como si observásemos “el bosque desde dentro”. Una galaxia puede contener entre millones y trillones de estrellas que están continuamente naciendo y muriendo de todas las formas posibles e incluye, además, gas, polvo, agujeros negros, etc.

2. Panorámica nocturna del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma) con la Vía Láctea al fondo. Créditos: Daniel López/IAC.

LA LUZ DEL COMETA

Los cometas son cuerpos menores, habitualmente definidos como «bolas de nieve sucia», que habitan en los confines del Sistema Solar, en una gigantesca envoltura compuesta por la Nube de Oort y el Cinturón de Kuiper, probablemente formada junto al resto de nuestro sistema solar hace unos 4.800 millones de años. Sometidos a la fuerza de la gravedad, como cualquier objeto del Universo, de vez en cuando sucede que choques entre ellos o el «tirón gravitatorio» de una estrella cercana son capaces de arrancarlos de su nube precipitándolos hacia el Sol. Una vez iniciado el viaje, nuevos encuentros gravitatorios definirán su órbita. Cuando se acercan al Sol, brillan y desprenden partículas que generan sus características colas.

3. Imagen de gran campo en la que se aprecia el cometa Lovejoy (C/2014 Q2), la constelación de Orión y el cúmulo de las Pléyades, obtenida desde el Observatorio del Teide, en Tenerife, la noche del 17 al 18 de enero de 2015. Créditos: Daniel López/IAC.

RENACUAJOS DE LUZ

Nada es eterno. Las estrellas nacen a partir de grandes nubes de gas y polvo que colapsan debido al efecto de la gravedad. A esas grandes nubes las denominamos Regiones HII o de formación estelar. Como si de nidos se tratara, las estrellas nacen siempre con numerosos hermanos, aunque cada cual con sus propias características, si bien es su masa la que definirá cuánto vivirá y cómo morirá. La región de formación estelar IC 410, situada en la constelación de *Auriga*, tiene un tamaño de 100 años luz y se encuentra a unos 12.000 años luz de la Tierra. Los “renacuajos” son regiones de formación estelar y miden unos 10 años luz.

4. Los “renacuajos” en la nebulosa IC 410, con estrellas en formación. Imagen obtenida con el Telescopio IAC-80, en el Observatorio del Teide (Tenerife). Daniel López/IAC.

UNA LÁPIDA LUMINOSA

Cuando las estrellas pequeñas, como el Sol e incluso un poco mayores, agotan su combustible, crecen como gigantes rojas y finalmente expulsan sus capas exteriores al espacio, quedando en su centro el núcleo de la estrella original como una enana blanca.

5. La nebulosa planetaria *Dumbbell* (M27). Imagen obtenida con el Telescopio IAC-80, en el Observatorio del Teide (Tenerife). Daniel López/IAC.

PUNTOS DE LUZ

Entre los primeros objetos astronómicos en formarse se encuentran los Cúmulos Globulares, entre miles y millones de estrellas formadas al mismo tiempo, hace más de 10.000 millones de años, y que permanecen unidas por la fuerza de la gravedad como si de un enjambre de abejas se tratase. *Omega Centauri* se encuentra a 17.000 años luz de distancia a la Tierra y es visible a simple vista como una mancha algodonosa en el cielo del tamaño aparente de la luna llena. Es el cúmulo globular más masivo de los que orbitan nuestra galaxia, la *Vía Láctea*. Es curioso cómo los avances técnicos han ido variando la clasificación de este objeto a lo largo de los años, siendo identificado por primera vez como una estrella por Ptolomeo. Años más tarde, en 1667, Halley la confundió con una nebulosa y, más recientemente, en 1830, Herschel la describió como un cúmulo globular. Investigaciones actuales especulan con que puede tratarse de una galaxia enana superviviente de una colisión con la *Vía Láctea* que desgarró sus estrellas más exteriores.

6. Cúmulo Globular *Omega Centauri*. Créditos: Luis Chinarro (IAC).



1



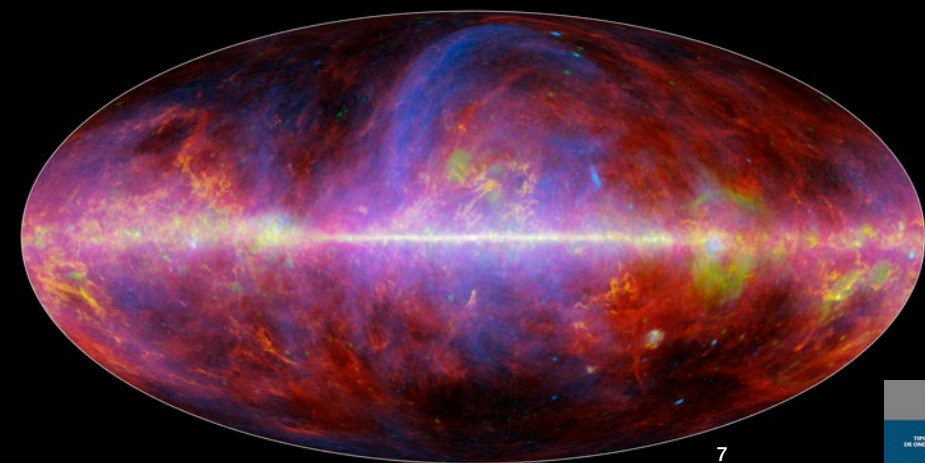
5



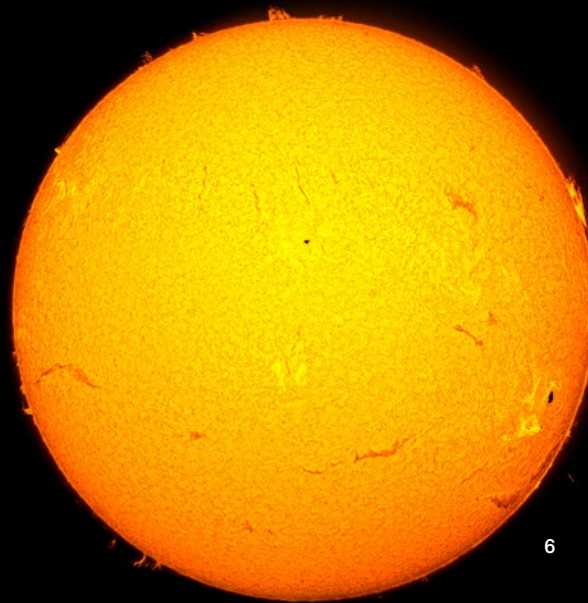
2

3

4



7



6



8

LUZ Y ASTROFÍSICA

La Astrofísica es una ciencia observacional. Eso significa que no podemos interactuar con los objetos de nuestro estudio y que debemos esperar pacientemente a que la Luz nos informe de todo lo que acontece en el Cosmos. Estamos limitados por las astronómicas distancias entre objetos, así como por una velocidad fantástica que se nos terminará antojando insuficiente.

LOS TELESCOPIOS, ESAS MÁQUINAS DEL TIEMPO

A simple vista podemos observar el Sol y la Luna, cuatro planetas, un par de miles de estrellas e intuir alguna galaxia. Pero si queremos ver objetos distantes, débiles o con mayor resolución, necesitamos recoger toda la luz posible. Para ello utilizamos los telescopios. Como la Luz viaja a una velocidad finita, 300.000 km/s, un millón de veces más rápida que el sonido, observar más lejos en el espacio significa observar más atrás en el tiempo. La Luz es la mensajera del Cosmos.

Canarias es uno de los mejores lugares del planeta para la observación del Universo. Por ello, numerosos países del mundo han apostado por las cumbres de Tenerife y la Palma como el lugar ideal para instalar sus telescopios, habiendo dado lugar a los Observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos.

1. Gran Telescopio CANARIAS (GTC), la mayor máquina del tiempo, en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Créditos: Pablo Bonet/IAC.

LUZ VISIBLE Y LUZ INFRARROJA

La Astronomía en el Visible estudia el Universo usando la luz en una pequeña región del espectro, la que el ojo humano puede detectar, pero con telescopios que captan más cantidad y funcionan como si se agrandara nuestra pupila. En ese rango, las estrellas son más visibles, y sus espectros permiten saber la composición química de estrellas, galaxias y nebulosas. En cambio, observando el cielo con telescopios infrarrojos se puede penetrar a través de las nubes de polvo interestelar y detectar objetos calientes, como estrellas que están naciendo o que se encuentran en las fases últimas de su evolución.

2. La galaxia M81 en el rango visible. Imagen obtenida con el Telescopio IAC-80 desde el Observatorio del Teide (Tenerife). Créditos: P. Rodríguez-Gil, P. Bonet, J. Pérez y R. Gimeno/IAC.

3. Imagen de la misma galaxia anterior en el rango infrarrojo cercano, obtenida por el telescopio SPITZER. Créditos: NASA/JPL-Caltech/K. Gordon (U. Arizona) & S. Willner (Cfá).

LUCES DEL UNIVERSO

La galaxia espiral NGC 7331 se parece a la Vía Láctea. Como su disco está inclinado con respecto a nuestra línea de visión, exposiciones largas con telescopios potentes evocan sensación de profundidad. El efecto es aún mayor gracias a otras galaxias que se encuentran mucho más allá y que son 10 veces más pequeñas que el tamaño aparente de NGC 7331 y, por tanto, se encuentran unas 10 veces más lejos. Su proximidad a esta galaxia espiral en el cielo es simplemente una casualidad.

4. Imagen de un grupo de galaxias, con la galaxia NGC 7331 en primer plano, obtenida con el Telescopio IAC-80, en el Observatorio del Teide (Tenerife). Créditos: Daniel López/IAC.

LUZ DE LUNA

La Luna no tiene luz propia, sino que refleja la que recibe del Sol. Pero nos referimos a la luz visible, que en poco más de un segundo recorre los 384.000 km que nos separan de nuestro satélite natural. Todos los cuerpos, sin embargo, por el hecho de estar a una determinada temperatura, emiten luz de un tipo u otro.

5. Imagen de la Luna llena. Créditos: Daniel López/IAC.

LUZ SOLAR

El Sol, la estrella más cercana, sí que brilla “con luz propia”. A 150 millones de km, los fotones partieron de su superficie hace unos 500 segundos. En la próxima puesta de Sol, piensa que “realmente” hace más de 8 minutos que nuestra estrella se ocultó bajo el horizonte.

Para observar el Sol, en Astrofísica se utiliza a veces un filtro que sólo permite pasar la luz de un ancho de banda muy estrecho alrededor de la longitud de onda del hidrógeno alfa, visible en la parte roja del espectro. Este filtro nos permite ver la cromosfera solar.

6. El Sol en H-alfa obtenida con el Telescopio Lunt, en el Observatorio del Teide (Tenerife). Créditos: Daniel López/IAC.

LA LUZ DEL BIG BANG

La radiación del fondo cósmico es la luz emitida unos 380.000 años después del Big Bang. Como resultado de la expansión del Universo en su largo viaje de unos 13.800 millones de años de duración, esta radiación se ha ido enfriando hasta alcanzar una temperatura muy baja (-270 °C) que ahora nos llega muy debilitada en forma de microondas.

7. Imagen de la radiación del fondo cósmico de microondas obtenida por el satélite Planck. Créditos: Consorcio Planck/ESA.

LUZ VISIBLE Y LUZ INVISIBLE – EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

La única forma que tenemos de conocer el Universo es gracias a la Luz. No sólo la Luz visible, a la que somos sensibles con nuestro limitado sentido de la vista, o esas Luz infrarroja o Luz ultravioleta que percibimos en la piel como calor al tostarnos al Sol. La Luz engloba diferentes tipos: Rayos Gamma, Rayos X, Ultravioleta, Visible, Infrarrojo, Microondas y Radio. Aunque con distinta energía, frecuencia o longitud de onda, todos ellos son lo mismo: ondas que en conjunto denominamos “radiación electromagnética” y que se desplazan a una misma velocidad en el vacío.

8. Esquema del Espectro Electromagnético. Créditos: Gabriel Pérez, SMM (IAC).

“Highlights” del IAC

30 años de resultados científicos

En la búsqueda de respuestas a los interrogantes del Universo, los telescopios de los Observatorios de Canarias han permitido visitar paisajes cósmicos impresionantes. Sin embargo, la producción de imágenes no es la única ni la principal finalidad del IAC. La evaluación del éxito científico es más sutil, porque el avance del conocimiento científico se asemeja a la resolución colectiva de un gigantesco puzzle del que no conocemos la imagen final. En la exposición “Luces del Universo”, el IAC quiso mostrar su contribución a la solución de este puzzle, señalando algunas de las piezas más importantes que ha conseguido colocar en estos últimos 30 años. Y lo hizo con un módulo interactivo donde los visitantes podían descubrir las piezas colocadas por el IAC mediante un simple movimiento de su mano.

Para alcanzar estos hitos científicos, el IAC movilizó los esfuerzos de numeroso personal científico, ingenieril, técnico y de administración, que ha conseguido colocar a Canarias en el mapa de la investigación astrofísica mundial. La historia de este centro siempre ha sido transparente y los medios de comunicación han dado buena cuenta de ella. Con la exposición “Luces del Universo” se condensaban esos 30 años y se demostraba que aquella institución joven que inauguraba los Observatorios de Canarias en 1985 ha sabido crecer manteniendo la juventud y, lo que es más importante, la curiosidad.



Módulo de la exposición “Luces del Universo” con los principales resultados científicos del IAC.

Los 22 hitos científicos del IAC que se mostraban en el módulo de la exposición se seleccionaron a partir de una lista de más de 80 artículos, liderados por personal investigador del IAC, publicados en revistas de gran impacto, como *Science* y *Nature*, y en otras revistas de referencia que contasen con un número de citas muy elevado, un criterio usado habitualmente para valorar la relevancia científica. El listado final se obtuvo de manera democrática por un proceso interno de selección entre los propios investigadores del centro que valoraron el trabajo de sus colegas, no pudiendo votar sus propias contribuciones.

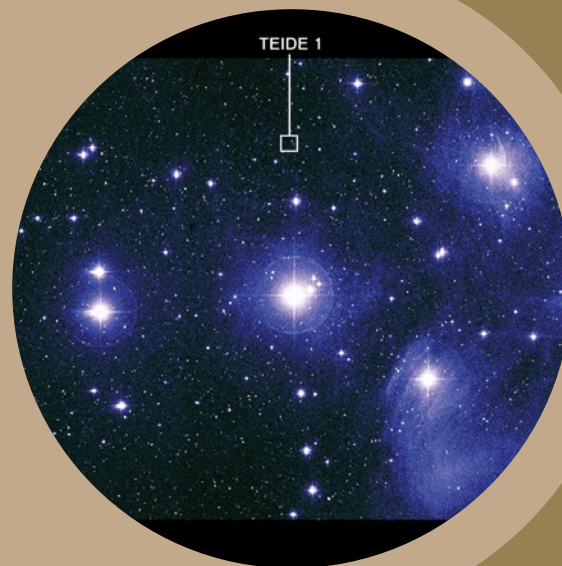
Por su parte, las instituciones científicas presentes en los Observatorios de Canarias han producido una enorme cantidad de importantes resultados científicos que también se pudieron visualizar de forma resumida en la exposición.

¿Existen objetos intermedios entre las estrellas y los planetas?

Sí, se conocen como “enanas marrones” y son estrellas sin la masa suficiente para mantener reacciones nucleares en su interior y producir energía. De ahí que se parezcan a los planetas.

En 1995, el Grupo de Objetos Subestelares del IAC encontró la primera enana marrón, *Teide 1*. Desde entonces, el número de enanas marrones descubiertas y nuestro conocimiento sobre ellas ha ido aumentando con los años.

- Discovery of a brown dwarf in the Pleiades star cluster.
Rebolo, R.; Zapatero Osorio, M. R.; Martín, E. L.
Nature, Volume 377, Issue 6545, pp. 129-131 (1995). 223 citations

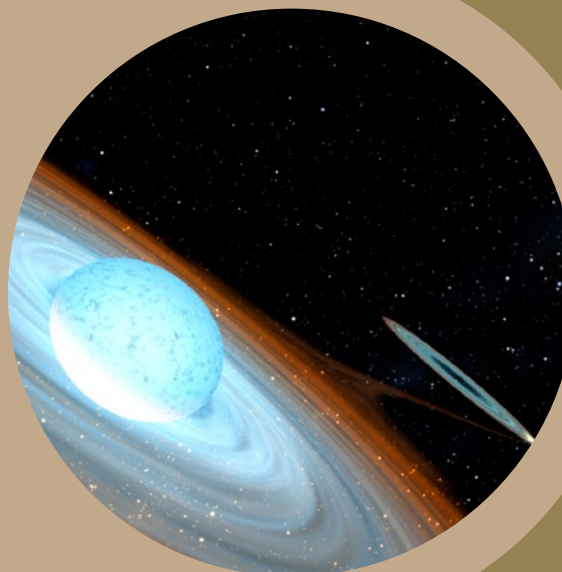


¿Es posible detectar un agujero negro?

Sí. Aunque estos objetos no dejan escapar de ellos casi ningún tipo de radiación, sí podemos observar su influencia gravitatoria en estrellas compañeras.

En 1992, investigadores del IAC y del RGO detectaron el primer agujero negro de nuestra galaxia en torno a la estrella V404 Cygni. Se confirmaba así la existencia de estos hipotéticos objetos del Universo. Después, diferentes grupos han confirmado alrededor de una veintena de agujeros negros estelares más, el 50% de ellos con participación del IAC.

- A 6.5-day periodicity in the recurrent nova V404 Cygni implying the presence of a black hole.
Casares, J.; Charles, P. A.; Naylor, T.
Nature 355, 614-617. (1992). 159 citations



¿Cuál es la temperatura efectiva de las estrellas y qué información aporta?

Es la temperatura de la superficie que podemos observar de la estrella y es importante para conocer su propia evolución.

A finales de la década de los 90, el Grupo de Física Estelar del IAC definió empíricamente una escala de temperatura para estrellas gigantes, subenanas y de la Secuencia Principal (fase en la que las estrellas pasan la mayor parte de su vida quemando hidrógeno en su núcleo) que se sigue usando hoy en día.

- The effective temperature scale of giant stars (F0-K5). II. Empirical calibration of T_{eff} versus colours and $[\text{Fe}/\text{H}]$

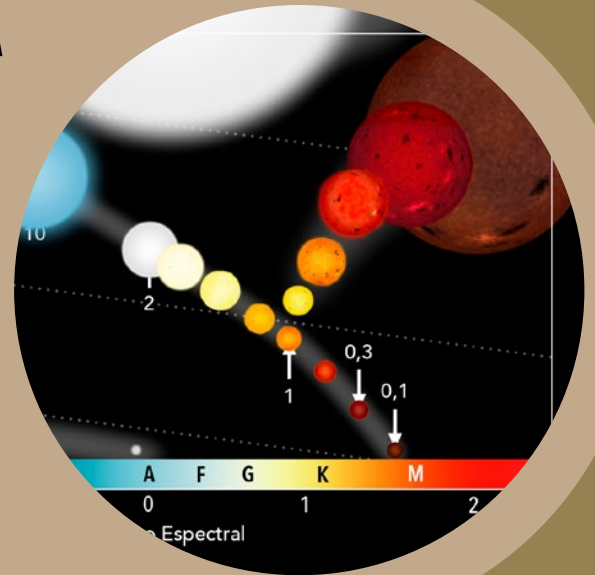
Alonso, A.; Arribas, S.; Martínez-Roger, C.

Astronomy and Astrophysics Supplement, v.140, p.261-277 (1999). 494 citations

- The empirical scale of temperatures of the low main sequence (F0V-K5V)

Alonso, A.; Arribas, S.; Martínez-Roger, C.

Astronomy and Astrophysics, v.313, p.873-890 (1996). 478 citations



¿Se puede estudiar la atmósfera del Sol?

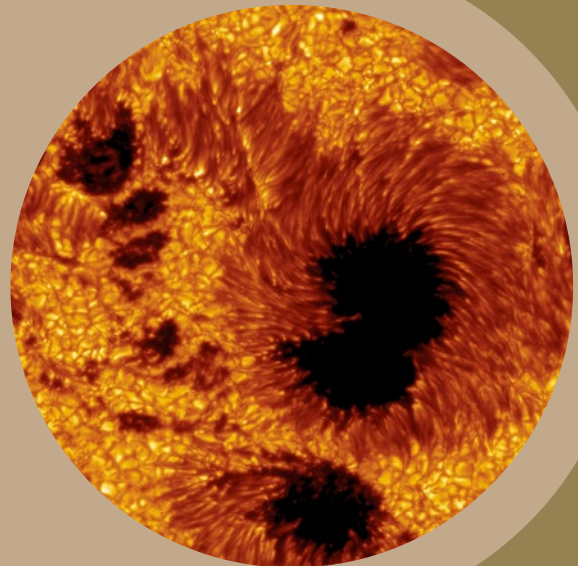
La baja densidad de la atmósfera solar y la imposibilidad de observar directamente los campos magnéticos hace complicado estudiarla.

A través de métodos de inversión y datos de polarimetría, miembros del Grupo de Física Solar del IAC establecieron en 1992 una técnica que aún se sigue usando para estudiar las capas más profundas (primeros 500 km) de la atmósfera de nuestra estrella.

- Inversion of Stokes profiles

Ruiz-Cobo, B.; del Toro Iniesta, J. C.

Astrophysical Journal, 398, 375-385. (1992). 359 citations

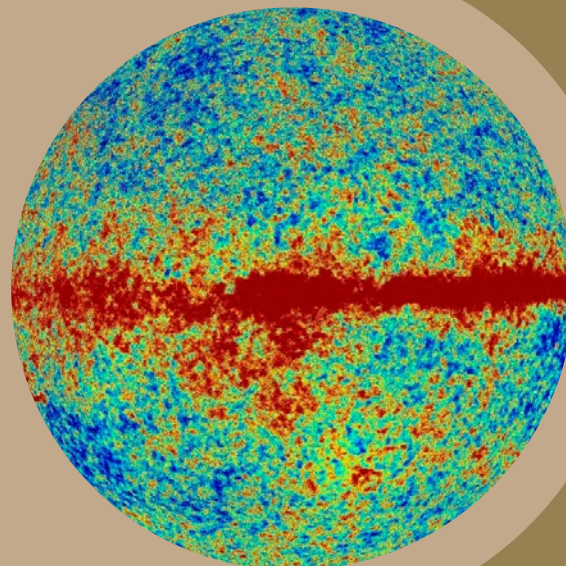


¿Podemos saber cómo surgió nuestro universo?

Sí, estudiando la radiación del Fondo Cósmico que nos llega en forma de microondas procedente del Big Bang.

Investigadores del IAC han sido pioneros en el estudio de esta radiación, eco del universo remoto, desde una primera detección desde tierra en 1993 de su anisotropía (variaciones en la intensidad de la radiación del fondo según la dirección de observación), hasta el desarrollo reciente del *Experimento QUIJOTE*.

- Sensitive measurement of fluctuations in the Cosmic Microwave Background
Davies R.D., Watson R., Daintree E.J., Hopkins J., Lasenby A.N., Beckman J.E., Sánchez-Almeida J., Rebolo R. (1987) *Nature*, 326, 462. 145 citations.
- Direct observation of structure in the cosmic microwave background
Hancock, S.; Davies, R. D.; Lasenby, A. N.; de La Cruz, C. M. Gutiérrez; Watson, R. A.; Rebolo, R.; Beckman, J. E. *Nature*, Volume 367, Issue 6461, pp. 333-338 (1994). 144 citations
- Detection of Anomalous Microwave Emission in the Perseus Molecular Cloud with the COSMOSOMAS Experiment
Watson, R. A.; Rebolo, R.; Rubiño-Martín, J. A.; Hildebrandt, S.; Gutiérrez, C. M.; Fernández-Cerezo, S.; Hoyland, R. J.; Battistelli, E. S.
Astrophysical Journal, 624 (2005), L89-L92. 96 citations

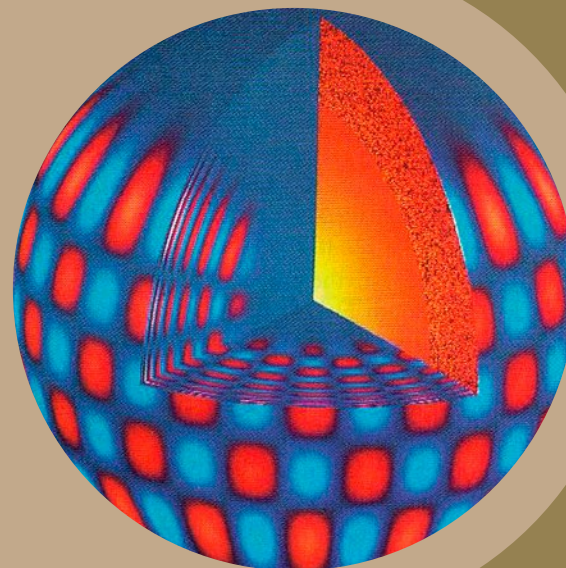


¿Se puede conocer el interior más profundo del Sol?

Sí. De forma similar a como se hace con el interior de la Tierra utilizando los terremotos, se puede conocer el interior del Sol estudiando las ondas generadas en su interior que llegan a la superficie.

En 1979, un equipo hispano-británico que trabajaba en el Observatorio del Teide detectó la oscilación solar de 5 minutos. Había nacido la Heliosismología, técnica mediante la cual podemos conocer de forma precisa el interior del Sol y en la que el IAC ha sido pionero.

- Solar structure from global studies of the 5-minute oscillation
Claverie, A.; Isaak, G. R.; McLeod, C. P.; van der Raay, H. B.; Roca-Cortés, T.
(Por orden alfabético, Resultados de la Tesis de Teodoro Roca Cortés)
Nature, vol. 282, Dec. 6, 1979, p. 591-594. (1979) 138 citations
- Rapid rotation of the solar interior
A. Claverie, G.R. Isaak, C.P. McLeod, H.B. van der Raay & T. Roca Cortés
Nature, (1981), 293, 443-47. 134 citations
- Ground-based measurements of solar intensity oscillations.
A. Jiménez; P.L. Pallé; T. Roca Cortés; V. Domingo; S. Korzennik.
Astronomy & Astrophysics. 172, pp. 323. 1987. 21 citations



¿Es posible estudiar cómo evolucionan las galaxias?

Sí, mediante un análisis multidisciplinar que englobe el estudio de poblaciones estelares, la dinámica de los diferentes constituyentes de las galaxias y un estudio morfológico de su estructura.

El desarrollo desde mediados de los 90 hasta hoy por parte del Grupo de Física Extragaláctica del IAC de Modelos de Síntesis de Poblaciones Estelares en galaxias a partir de su composición química ha permitido analizar en detalle los procesos evolutivos de las mismas.

- A New Chemo-evolutionary Population Synthesis Model for Early-Type Galaxies. II. Observations and Results Vazdekis, A.; Peletier, R. F.; Beckman, J. E.; Casuso, E. *Astrophysical Journal Supplement Series*, Volume (1995) 203-232. 135 citations
- A New Chemo-evolutionary Population Synthesis Model for Early-Type Galaxies. I. Theoretical Basis Vazdekis, A.; Casuso, E.; Peletier, R. F.; Beckman, J. E. *Astrophysical Journal Supplement* v.106, p.307 (1996). 245 citations
- Evolutionary stellar population synthesis with MILES - I. The base models and a new line index system Vazdekis, A.; Sánchez-Blázquez, P.; Falcón-Barroso, J.; Cenarro, A. J.; Beasley, M. A.; Cardiel, N.; Gorgas, J.; Peletier, R. F. *Monthly Notices Royal Astronomical Society*, 404 (2010), 1639-1671. 197 citations

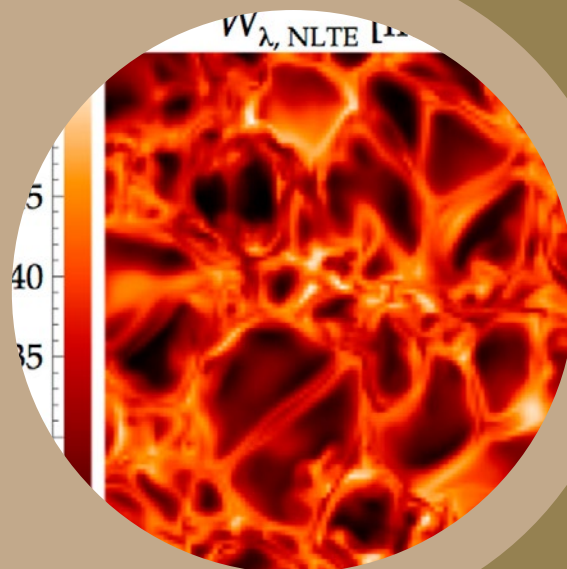


¿Se puede descubrir el pasado de una estrella?

Sí, estudiando por ejemplo la presencia de Litio en su atmósfera, pues este elemento se quema junto con el Hidrógeno en pocos millones de años en estrellas poco masivas.

A finales de los 80, un grupo de investigadores del IAC desarrollaron el Test del Litio, una técnica que ha permitido desde entonces analizar cambios en la estructura y evolución de diversos tipos de estrellas, desde enanas marrones a estrellas que orbitan alrededor de un agujero negro o estrellas con planetas.

- Lithium abundances in metal-deficient dwarfs Rebolo, R.; Beckman, J. E.; Molaro, P. *Astronomy and Astrophysics* 192, no. 1-2, 192-205. (1988). 205 citations
- Li depletion in F stars by internal gravity waves García López, Ramón J.; Spruit, Hendrik C. *Astrophysical Journal*, 377, 1991, p. 268-277. 130 citations
- High lithium abundance in the secondary of the black hole binary V404 Cygni Martín E.L., Rebolo R., Casares J., Charles P.A. *Nature*, 358, (1992) 129. 58 citations

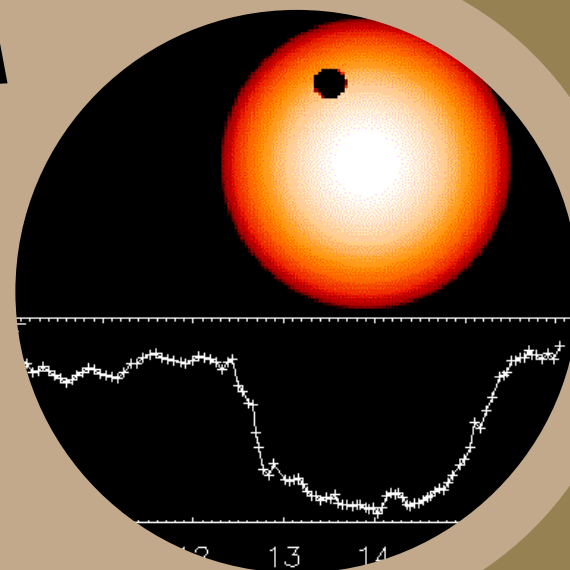


¿Se pueden detectar planetas orbitando alrededor de estrellas como el Sol?

Sí, con diferentes métodos, por ejemplo mediante el Método de Tránsitos planetarios, que se basa en la observación de la disminución del brillo de una estrella cuando un planeta se sitúa entre ella y la Tierra.

En 2004, el Grupo de Exoplanetas del IAC, en colaboración con astrónomos estadounidenses, detectó por el Método de Tránsitos el primer planeta orbitando alrededor de una estrella cercana similar al Sol: TrES-1b.

- TrES-1: The Transiting Planet of a Bright K0 V Star
Alonso, R. et al. (12 authors, Belmonte J.A., Deeg H.J. included)
The Astrophysical Journal, Volume 613, Issue 2, pp. L153-L156. (2004). 260 citations

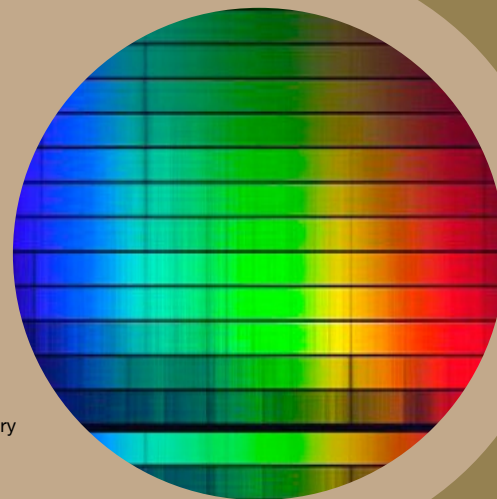


¿Es posible conocer la edad y la composición química de las estrellas en otras galaxias?

En nuestra galaxia (estrellas cercanas) se hace mediante la Espectroscopía, técnica en la que se dispersa la luz para analizar las diversas propiedades físicas y químicas de los objetos observados. En el caso de otras galaxias es difícil usar esta técnica sobre estrellas individuales al tratarse de objetos lejanos y débiles, siendo difícil recoger suficiente luz para obtener la información.

En las décadas en torno al cambio de milenio, investigadores del Grupo de Física Galáctica del IAC desarrollaron un código que permite conocer la edad y la metalicidad (la abundancia relativa de elementos más pesados que el Helio) de un grupo de estrellas mediante la observación de su brillo y color (técnica denominada Fotometría). Este código ha permitido estudiar cómo evolucionan las galaxias de nuestro entorno.

- The Local Group Dwarf Irregular Galaxy NGC 6822.II.The Old and Intermediate -Age Star Formation History
Gallart, C.; Aparicio, A.; Bertelli, G.; Chiosi, C.
Astronomical Journal v.112, p.1950 (1996). 123 citations
- IAC-STAR: A Code for Synthetic Color-Magnitude Diagram Computation
Aparicio, A.; Gallart, C.
Astronomical Journal, 128 (2004), 1465-1477. 102 citations
- The Adequacy of Stellar Evolution Models for the Interpretation of the Color-Magnitude Diagrams of Resolved Stellar Populations
Gallart, C.; Zoccali, M.; Aparicio, A. (2005)
Annual Review of Astronomy & Astrophysics, vol. 43, 387-434. 159 citations.



¿Hay una relación entre tamaño y edad en las galaxias?

Sí, las galaxias más masivas eran mucho más compactas en el pasado.

En 2007, un equipo internacional liderado por astrónomos del IAC consiguió probar que el tamaño promedio de las galaxias ha aumentado drásticamente en la segunda mitad de la historia del Universo.

- Strong size evolution of the most massive galaxies since $z \sim 2$
Trujillo, I.; Conzelmann, C. J.; Bundy, Kevin; Cooper, M. C.; Eisenhardt, P.; Ellis, R. S.
Monthly Notices Royal Astronomical Society, V382109-120. (2007). 204 citations



¿Cómo se clasifican las estrellas?

En Astrofísica se utiliza la clasificación espectral de Harvard, donde las diferentes clases de estrellas se enumeran de las más cálidas a las más frías, con las letras O, B, A, F, G, K y M.

Astrónomos del Grupo de Física Estelar del IAC consiguieron en 1992 definir una serie de parámetros intrínsecos de las estrellas OB (las más masivas, brillantes y azuladas) de la Vía Láctea. Este trabajo se extendió con posterioridad a nuestras vecinas, la galaxia espiral M33 (Triangulum).

- Intrinsic parameters of galactic luminous OB stars
Herrero, A.; Kudritzki, R. P.; Vilchez, J. M.; Kunze, D.; Butler, K.; Haser, S.
Astronomy and Astrophysics. 261, no. 1, p. 209-234. (1992). 319 citations

Color - Temperatura

Temperatura (°C)	Color	Masa	Radio	Luminosidad	Composición
10000 °C	Azul	60	15	1.400.000	Nitrógeno, carbono,
10000 °C	Bianco azulado	18	7	20.000	Helio, hidrógeno
7500 °C	Bianco	3,1	2,1	80	Hidrógeno
7100 °C	Bianco amarillento	1,7	1,3	6	Metales: hierro, titanio, ca
5700 °C	Amarillo (como el Sol)	1,1	1,1	1,2	Calcio, helio, hidrógeno y
4600 °C	Amarillo anaranjado	0,8	0,9	0,4	Metales y óxido de titanio
3200 °C	Rojo	0,3	0,4	0,04	Metales y óxido de titanio

El color de una estrella nos dice su temperatura:
Las estrellas rojas son las más frías,
Las estrellas azules, las más calientes

Técnicas:
Spectral, Kiss Me, Hemos Fuera

¿Tienen las estrellas que albergan planetas alguna característica especial?

Si encontramos alguna característica que diferencie a las estrellas con planetas de las que no los tienen, podremos optimizar nuestros métodos para la búsqueda de nuevos planetas extrasolares.

En la última década, investigadores de los grupos de Física Estelar y Exoplanetas del IAC han conseguido probar que las estrellas que albergan planetas son más ricas en metales y que en ellas se destruye prácticamente todo el Litio original de manera eficaz, lo que abre la puerta a nuevos hallazgos.

- Spectroscopic [Fe/H] for 98 extra-solar planet-host stars. Exploring the probability of planet formation
Santos, N. C.; Israelian, G.; Mayor, M.

Astronomy and Astrophysics, v.415, p.1153-1166 (2004). 519 citations

- Enhanced lithium depletion in Sun-like stars with orbiting planets

Israelian G., Delgado-Mena E., Santos N.C., Sousa S.G., Mayor M., Udry S., Domínguez-Cerdeña C., Rebolo R., Randich S.

Nature, 462 (2009), 189. 79 citations.



¿Qué relación hay entre la cantidad de energía que nos llega del Sol y la actividad observada en su superficie?

El Sol sigue ciclos de actividad de 11 años, durante los cuales varía el número de manchas solares y de protuberancias, que aumentan por la acción de intensos campos magnéticos.

En 2004, investigadores del Grupo de Física Solar del IAC, analizando el Sol en calma, consiguieron probar que el campo magnético es capaz de retener enormes cantidades de energía que luego puede ser liberada durante las fases de mayor actividad.

- A substantial amount of hidden magnetic energy in the quiet Sun

Trujillo Bueno, J.; Shchukina, N.; Asensio Ramos, A.

Nature, Volume 430, 326-329 (2004). 230 citations

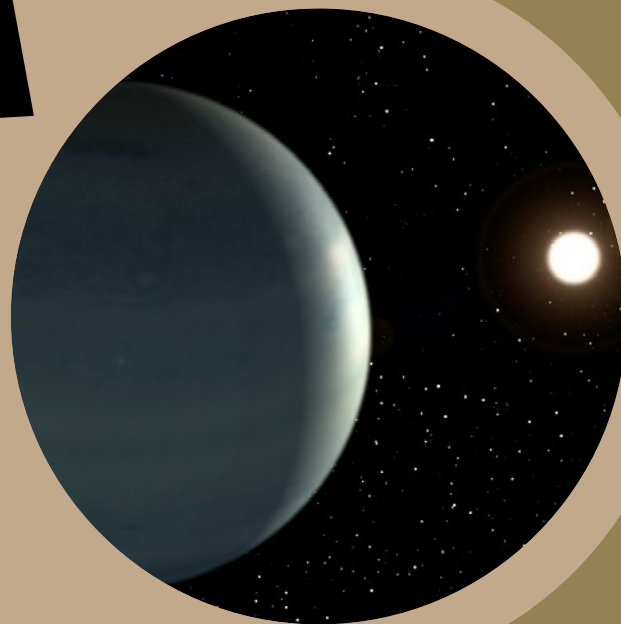


¿Hay planetas en el Universo que no orbiten alrededor de una estrella?

Sí, existen planetas aislados que se formaron, como las estrellas, a partir del colapso de pequeños fragmentos de nubes de gas y polvo.

Investigadores del Grupo de Exoplanetas del IAC descubrieron en el año 2000, en el cúmulo estelar Sigma Orionis, el primer planeta de masa similar a la de Júpiter flotando libremente o “freeflop” no ligado gravitatoriamente a una estrella.

- Discovery of Young, Isolated Planetary Mass Objects in the Sigma Orionis Star Cluster
Zapatero Osorio, M. R.; Béjar, V. J. S.; Martín, E. L.; Rebolo, R.; Barrado y Navascués, D.; Bailer-Jones, C. A. L.; Mundt, R.
Science, Volume 290, Issue 5489, pp. 103-107 (2000). 222 citations



¿Jugó el cielo algún papel en el diseño de los templos y pirámides del Egipto Antiguo?

Sí, los egipcios antiguos debieron tener un cierto nivel de conocimiento astronómico que se aplicaría tanto a temas religiosos como a temas prácticos como medir el tiempo.

En la década pasada, la Misión hispano-egipcia de Arqueoastronomía, liderada por investigadores del IAC, confirmó definitivamente con una muestra significativa que los antiguos egipcios orientaban astronómicamente sus edificios sagrados, como sus templos o sus pirámides.

- On the Orientation of Ancient Egyptian Temples (Paper series 1 to 5)
Belmonte, J.A. et al.
Journal for the History of Astronomy, Vol. 36-40 (2005-2009), 75 citations



¿Se puede saber la historia de formación de nuestra galaxia, la Vía Láctea?

Sí, por ejemplo, estudiando sus cúmulos globulares (fósiles astronómicos), que son enjambres casi esféricos de estrellas muy viejas, formados de la misma nube de gas y a la par que nuestra Vía Láctea.

Investigadores del Grupo de Poblaciones Estelares del IAC han conseguido fijar la edad relativa de los cúmulos globulares y establecer así que nuestra galaxia, la Vía Láctea, se formó en un proceso rápido, de menos de 500 millones de años, seguido de la acreción de galaxias cercanas menores.

- Galactic Globular Cluster Relative Ages

Rosenberg, A.; Saviane, I.; Piotto, G.; Aparicio, A.

The Astronomical Journal, Volume 118, Issue 5, pp. 2306-2320. (1999). 203 citations

- The ACS Survey of Galactic Globular Clusters. VII. Relative Ages

Marín-Franch, A.; Aparicio, A.; Piotto, G.; Rosenberg, A.; Chaboyer, B.; Sarajedini, A.; Siegel, M.; Anderson, J.; Bedin, L. R.; Dotter, A.; Hemel, M.; King, I.; Majewski, S.; Milone, A. P.; Paust, N.; Reid, I. N.

Astrophysical Journal, Volume 694, 1498-1516 (2009). 192 citations



¿Hay “tornados” en la superficie del Sol?

Sí, como ocurre en la Tierra, pero formados no por una masa de aire sino por la interacción del plasma con el campo magnético, que gira y se retuerce alrededor del Sol.

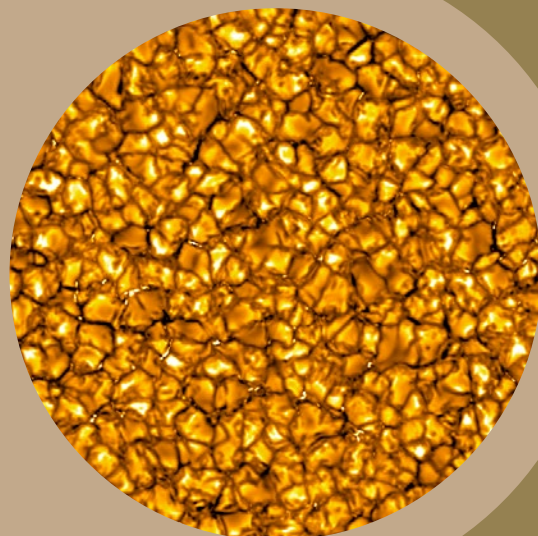
Con datos del experimento IMAx a bordo del globo estratosférico SUNRISE, un equipo de investigadores liderado por el Grupo de Física Solar del IAC confirmó la existencia de estructuras en forma de vórtice en la atmósfera del Sol.

- SUNRISE/IMaX Observations of Convectively Driven Vortex Flows in the Sun

Bonet, J. A.; Márquez, I.; Sánchez Almeida, J.; Palacios, J.; Martínez Pillet, V.; Solanki, S. K.; del Toro Iniesta, J. C.;

Domingo, V.; Berkefeld, T.; Schmidt, W.; Gandorfer, A.; Barthol, P.; Knölker, M.

Astrophysical Journal Letters, Volume 723, Issue 2, pp. L139-L143 (2010). 43 citations



¿De qué están compuestas las regiones de formación estelar?

Las regiones de formación estelar, tanto en emisión (asociadas a estrellas jóvenes) como en absorción (regiones oscuras), están constituidas por gases (Hidrógeno y Helio, principalmente) y otros elementos químicos en forma de polvo cósmico.

A finales del siglo XX, un equipo de astrónomos liderado por investigadores del IAC consiguió establecer con gran detalle la composición química de la Nebulosa de Orión y, con ello, abrir una nueva perspectiva a los estudios del Medio Interestelar.

- Chemical composition of the Orion nebula derived from echelle spectrophotometry
Esteban, C.; Peimbert, M.; Torres-Peimbert, S.; Escalante, V.
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 295, 401 (1998). 216 citations



¿Podemos conocer la composición química de las galaxias más cercanas?

Sí, podemos estudiar en gran detalle las galaxias que forman el Grupo Local: tres espirales gigantes que actúan como centros de gravedad, entre ellas la Vía Láctea, y varias satélites.

En 1988, un equipo internacional de astrónomos liderado por investigadores del IAC determinó la composición química y su variación radial dentro de M33, la galaxia del Triángulo.

- The chemical composition gradient across M 33
Vilchez, J. M.; Pagel, B. E. J.; Diaz, Angeles I.; Terlevich, Elena; Edmunds, M. G.
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 235, 633-653. (1988). 248 citations



¿Qué podemos aprender sobre la vida gracias a nuestro sistema solar?

Al ser lo más cercano que tenemos y tan variado, podemos usarlo para explorar, por ejemplo, la existencia de agua en el pasado y como laboratorio para la búsqueda de vida en planetas extrasolares.

A finales de la pasada década, equipos liderados por astrónomos del Grupo de Exoplanetas del IAC probaron que se puede usar la Luna eclipsada para analizar si sería detectable la vida en la Tierra desde otras estrellas. También probaron que los planetas enanos del Cinturón de Kuiper tienen una composición química que incluye hidrocarburos, los componentes básicos de la vida.

- Earth's transmission spectrum from lunar eclipse observations
Pallé E., Zapatero-Osorio M.R., Barrena R., Montañés-Rodríguez P., Martín E.L. *Nature*, 459 (2009), 814. 48 citations.
- The methane ice rich surface of large TNO 2005 FY₉: a Pluto-twin in the trans-Neptunian belt?
Licandro, J.; Pinilla-Alonso, N.; Pedani, M.; Oliva, E.; Tozzi, G. P.; Grundy, W. M. *Astronomy and Astrophysics*, 445 (2006), L35-L38. 68 citations

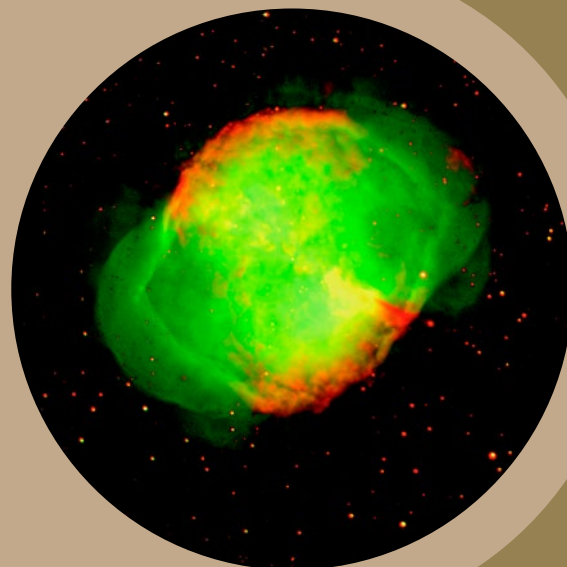


¿Cómo mueren las estrellas?

De manera diferente según su masa inicial y su entorno, pero todas lo hacen cuando agotan su combustible. Pueden acabar como un agujero negro, una estrella de neutrones o una enana blanca.

En 1996, el Grupo de Nebulosas Planetarias del IAC publicó un catálogo de estos objetos, remanentes de la muerte de estrellas similares al Sol, las cuales se han desprendido de sus capas exteriores dejando en el núcleo una enana blanca muy densa. En este catálogo se recogen sus diferentes formas.

- The IAC morphological catalog of northern Galactic planetary nebulae
Manchado, A., Guerrero, M.A., Stanghellini, L., Serra-Ricart, M. (1996). 197 citations



Luminiscencias atmosféricas

Cuando el cielo se viste de color

EL AIRGLOW

¿QUÉ ES?

Salvo en escasas ocasiones, es muy difícil disfrutar con la contemplación de las auroras boreales en Canarias y en la península Ibérica. Sin embargo, hay un fenómeno que al menos fotográficamente se aproxima a este fenómeno. Se trata del *airglow* (término en inglés). Esta luminosidad nada tiene que ver con la contaminación lumínica, sino todo lo contrario, ya que para su observación se requieren cielos muy oscuros.

El *airglow* es un fenómeno que tiene lugar en una atmósfera planetaria como consecuencia de la emisión de luz (incluyendo electrónica, vibracional y rotacional) por recombinación química de átomos, moléculas e iones, que son previamente fotoionizados por la radiación solar o por rayos cósmicos.

En la Tierra se traduce en una luminiscencia nocturna verdosa en el cielo, prácticamente invisible a simple vista y perceptible desde cualquier lugar del planeta, a diferencia de las auroras que son más frecuentes a altas latitudes, y siempre que la calidad y oscuridad del cielo lo permitan. Las nuevas técnicas de astrofotografía han facilitado su detección desde tierra, siendo en los últimos años

un fenómeno codiciado y perseguido por muchos astrofotógrafos. El *airglow* es claramente visible desde la órbita terrestre, como muestran las imágenes de la Estación Espacial Internacional (ISS de sus siglas en inglés).

¿QUÉ LO PRODUCE?

Las principales especies químicas que producen el *airglow* en la atmósfera terrestre están en la mesopausa. Son la capa del OH, a unos 85 km, y la de oxígeno (molecular, atómico y su ión O⁺), situada a unos 95 km de altura, ambas con un grosor aproximado de unos 10 km. Sin embargo, el elemento más importante en la producción del *airglow*, por su concentración, es el nitrógeno molecular (N₂) y su ión, combinado con el hidrógeno o con el oxígeno (NO y NO₂). También el sodio mesosférico, cuya principal fuente es meteorítica, puede producir esta luminiscencia.

Es precisamente la luz verde procedente de la excitación de los átomos de oxígeno la que domina en el espectro del *airglow*. Mientras que la luz roja, más débil, procede de estados superiores del oxígeno, del radical hidroxilo OH y del sodio mesosférico.

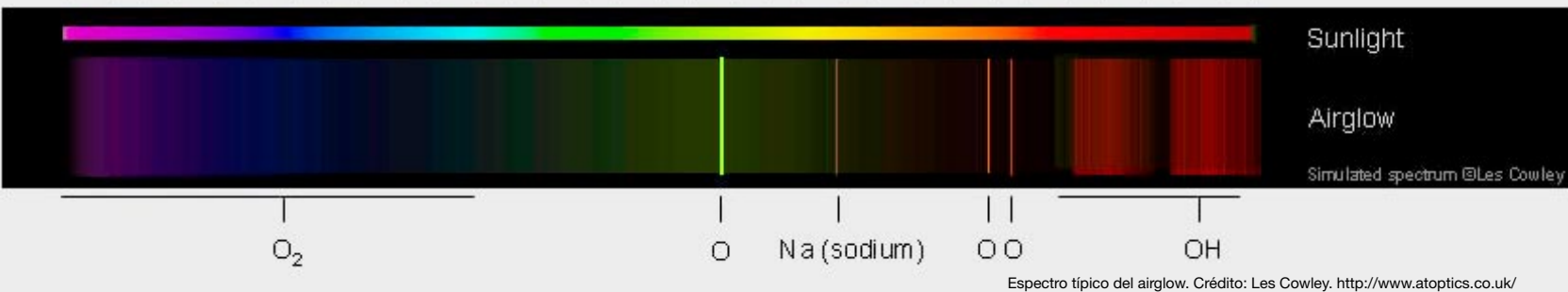
La mayor parte de las atmósferas planetarias exhiben evidencias de *airglow*.

Esa sutil y aparentemente frágil envoltura gaseosa que envuelve a nuestro planeta, responsable de gran parte de los procesos bioquímicos que dan origen a la vida, que nos protege de impactos de meteoritos, de la radiación ultravioleta del Sol o del bombardeo del viento solar, es también un quebradero de cabeza para los astrofísicos porque extingue la luz procedente de las estrellas y nos distorsiona la imagen que tenemos de ellas. Sin embargo, existen lugares del planeta, como son las cumbres de Canarias, cuya atmósfera limpia, serena y transparente, nos permite, al caer la noche, contemplar la majestuosidad de sus cielos estrellados y acercarnos, desde complejas instalaciones telescópicas instaladas en sus observatorios astronómicos, a los confines del Universo. Pero, además, estos cielos oscuros y limpios nos sorprenden regalándonos otras maravillas bajo el paisaje estrellado, como son la luz zodiacal o un fenómeno algo más desconocido y esquivo denominado "airglow" o luminiscencia nocturna.

En todos ellos, el Sol es el protagonista, bien jugando con las partículas de polvo del Sistema Solar en el plano de la eclíptica o bien con otros compuestos presentes en la atmósfera terrestre.

Quizás Venus, donde recientemente se ha detectado el hidroxilo OH (Piccioni et al., 2008), podría ser un excelente candidato para este fenómeno.

El *airglow* terrestre también ha sido estudiado en el Ultravioleta Extremo, con datos obtenidos por el espectrógrafo EURD (Espectrógrafo Ultravioleta para la Radiación Difusa) tras casi 3 años en órbita (unas 800 horas de observación) a



bordo del primer satélite científico español (MINISAT) lanzado en abril de 1997. EURD proporcionó el espectro del airglow terrestre en la región de 50 a 109 nm más detallado hasta el momento, detectando más de 20 líneas nuevas en el airglow (J. J. López, 2000).

UN POCO DE HISTORIA

Fue Anders Jonas Ångström, físico y astrónomo sueco, considerado uno de los fundadores de la espectroscopía, el primero en examinar en 1867 el espectro de las auroras boreales y el primero en descubrir, en 1968, una línea verde presente en el cielo nocturno durante períodos sin auroras (Murray, 2008).

Sin embargo, fue Robert John Strutt, hijo del también físico John William Strutt (Lord Rayleigh, premio nobel de Física por el descubrimiento del argón y descubridor del *scattering Rayleigh*), quien investigó este fenómeno y al que se le atribuye el descubrimiento de esta luminiscencia hacia 1920. Lo denominaba “airglow Rayleigh”.

Posteriormente, en 1923, John McLennan y G. M. Shrum identificaron que la línea verde se debe al oxígeno atómico. En 1929, Vesto Melvin Slipher descubrió la capa de sodio que contribuye al airglow. En 1931, Sydney Chapman sugirió que el airglow se produce por recombinación química y, en 1939, propuso el ciclo de reacción del sodio para producir el “nightglow”. En 1950 se acuña el término

“airglow” tras identificar otras emisiones atmosféricas. En la década de los 60 y 70, los instrumentos a bordo de cohetes y satélites proporcionan los espectros en visible y UV del “dayglow”. A día de hoy, las emisiones del oxígeno en el dayglow son un punto de referencia en estudios del clima en la Tierra (Scherer et al., 2005).

¿CUÁNTOS TIPOS HAY?

El airglow se clasifica en tres tipos:

Nightglow: cuando toda la atmósfera está en oscuridad.

Dayglow: cuando toda la atmósfera está iluminada por el Sol. Pese a estar



afectado por la luz directa y dispersada del Sol, es el tipo de airglow más brillante.

Twilightglow: cuando sólo está iluminada la alta atmósfera. Es el más fácilmente detectable desde un observador en tierra en lugares pocos contaminados lumínicamente.

¿EN QUÉ SE DIFERENCIA EL AIRGLOW DE LAS AURORAS?

A menudo, el airglow podría confundirse con una aurora, pero existen diferencias básicas que los hacen distinguibles. Por un lado, está el lugar de aparición: las auroras suelen darse en elevadas altitudes, mientras que el airglow puede verse desde cualquier lugar del planeta. Por otro, el fenómeno físico que la produce: la excitación en las auroras está producida por colisiones con partículas energéticas del viento solar, mientras que en el airglow la excitación química la produce la radiación ultravioleta solar.

Por último y visiblemente, se diferencian en su patrón: las auroras están altamente estructuradas mientras que el airglow sigue un patrón muy homogéneo (Savigny, 2014).

Las auroras tienen formas, estructuras y colores muy diversos que además cambian rápidamente con el tiempo.

LA LUZ ZODIACAL

¿QUÉ ES?

Otro fenómeno luminoso, no menos espectacular en el cielo nocturno, es la denominada “luz zodiacal”. Consiste en un resplandor tenue y difuso, que adopta forma triangular, que se extiende a lo largo del plano de la eclíptica, precisamente donde se encuentran las constelaciones del Zodíaco, de ahí su nombre. (Ver artículo de Francisco Sánchez en este mismo número de *Paralajes*).



Airglow embebido en una aurora (Crédito: NASA ISS-6 crew).



Airglow fotografiado desde el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Crédito: Daniel López/IAC.



Aurora boreal observada desde Islandia. Crédito: Daniel López.

Al ser tan débil, esta luminosidad sólo es detectable desde lugares con muy baja contaminación lumínica y en noches sin Luna. Es más visible cuando la eclíptica se eleva en el horizonte, y esto depende de la estación en la que nos encontremos. En el Hemisferio Norte y a latitudes intermedias como en Canarias, se observa mejor hacia el Oeste en primavera, tras la puesta de Sol o hacia Este en el otoño, justo antes del alba.

Opuesto a la posición del Sol podría verse un brillo ovalado varias magnitudes más débil que la Vía Láctea, conocido como *Gegenschein*, término alemán que significa contra+brillo acuñado por el polímata Alexander von Humboldt, aunque fue descrito por primera vez en 1730 por el astrónomo jesuita francés y profesor Esprit Pezenas y explicado en 1854 por el astrónomo danés Theodor Brorsen como un proceso relacionado con reflexiones del polvo interplanetario.

¿QUÉ LA PRODUCE?

Las partículas de polvo interplanetario absorben la luz solar y la vuelven a emitir en forma de radiación infrarroja produciendo la luz zodiacal. Estas microscópicas partículas de polvo forman una nube lenticular de hasta unos 600 millones de kilómetros de torno al Sol.

La presión de radiación solar va frenando a estas partículas (por efecto Poynting-Robertson) que se irán moviendo lentamente en espiral aproximándose al Sol. Por ello, la densidad de partículas y el brillo decrecen con la distancia al mismo, de modo que aunque la luz zodiacal abarca toda la eclíptica, se detecta mejor en las direcciones cercanas al Sol.

Según este proceso, la luz zodiacal debería extinguirse a medida que migran las partículas hacia el Sol, pero existe una fuente continua de polvo que mantiene encendida la luz zodiacal, son las colas de los cometas que se aproximan a nuestra estrella y las colisiones de asteroides que enriquecen el medio interplanetario de partículas de polvo. Trabajos recientes (Nesvorný et al., 2010) atribuyen el 85% del polvo a



fragmentaciones de cometas de la familia de Júpiter (cometas con períodos orbitales inferiores a 20 años).

UN POCO DE HISTORIA

La luz zodiacal tuvo una importante repercusión en el Islam. El profeta árabe Mahoma (Muhammad, Mohammed o Mahomet; La Meca, 575 - Medina, 632), fundador de la religión musulmana, describió luz zodiacal en referencia a las fechas de las cinco oraciones diarias, llamándolo “el falso amanecer” (al-fajr al-kadhib). La tradición oral musulmana conserva numerosos dichos o hadith, en el que Mahoma describe la diferencia entre la luz del falso amanecer, apareciendo en el cielo mucho después de la puesta del sol, y la luz de la primera banda en el horizonte de la luz al amanecer, lo denomina “el verdadero amanecer”. Podemos imaginar que la nula contaminación lumínica en las noches en la región del Hiyaz (perteneciente a la actual Arabia Saudí) le permitiría contemplar este fenómeno con mayor facilidad que lo que resulta hoy en día en lugares poblados. Los practicantes del Islam utilizan descripciones de Mahoma de la luz zodiacal para evitar errores en la determinación de los tiempos de las oraciones diarias. Tales descripciones y aplicaciones prácticas de las observaciones astronómicas eran vitales para la edad de oro de la astronomía islámica (http://en.wikipedia.org/wiki/Zodiacal_light).

Anteriormente, se creía que la luz zodiacal era la atmósfera del Sol. Fue identificada por primera vez por Joshua Childrey en 1661. Posteriormente fue investigada por el astrónomo Giovanni Domenico Cassini en 1683, quien identificó el fenómeno como debido a la luz solar dispersada por las partículas de polvo en el Sistema Solar, aunque otras fuentes lo atribuyen al matemático y astrónomo suizo Nicolas Fatio de Duillier en 1684.

En Canarias, las primeras observaciones y estudios exhaustivos sobre la luz zodiacal fueron realizados por el Prof. Francisco Sánchez (1968) y el Prof. Carlos Sánchez a finales de la década de los 60 y en los 70. El objetivo era el estudio de la luminiscencia atmosférica, la luz zodiacal y los planetas, utilizando para ello varios fotómetros, globos y cohetes (Fernández Pérez, 2010). Una vez más estos estudios corroboraban la excelencia de las cumbres de Canarias para las observaciones astronómicas. Aún hoy, gracias también a la pionera Ley del Cielo (Ley 31/1988), que protege los cielos de Canarias de la contaminación lumínica (así como de la



contaminación atmosférica, radioeléctrica y de rutas aéreas), es posible seguir disfrutando desde las cumbres de Tenerife y la Palma de fenómenos tan elusivos y en peligro de extinción en muchas áreas del planeta, como son el airglow y la luz zodiacal.

ANTONIA M. VARELA

Referencias

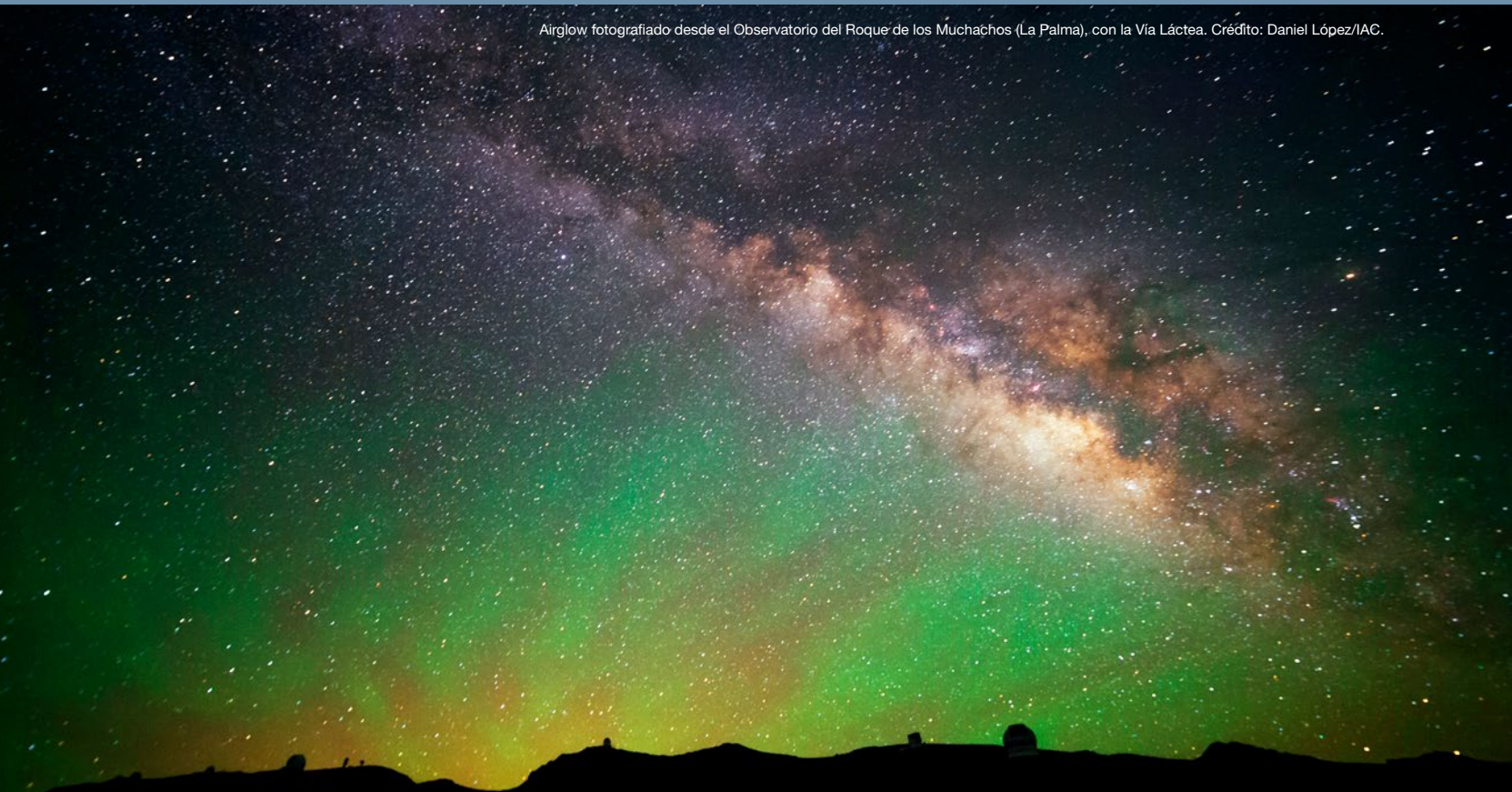
- I. Fernández Pérez, *Aproximación histórica al desarrollo de la astronomía en España*, Universidad de Santiago de Compostela, 2010.
- J. Jiménez, *Astronomy Magazine*, 2014.
- J. J. López, Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC), <http://www.iaa.es/es/node/614>, 2000.
- D. Jay Murray, *Modeled and Observed Nitrogen Lyman-Birge-Hopfield Band Emissions in the Earth's Dayglow: A Comparison*, ProQuest/UMI Number: 3319264, 2008.
- D. Nesvorný, P. Jenniskens, H. F. Levison, W. F. Bottke, D. Vokrouhlický and Matthieu Gounelle, *Ap.J.*, 713, N.2, 2010.
- F. Sánchez, *Urania*, Números 267-272, 1968.
- C. von Savigny, *Remote Sensing of the Atmosphere*, Summer Term, 2014.
- K. Scherer, H. Fichtner, B. Heber and U. Mall (Eds.), *Space Weather: The Physics Behind a Slogan*, Lect. Notes Phys. 656, Springer, 2005.



Airglows desde los Observatorios de Canarias

Pruebas de la calidad del cielo

Airglow fotografiado desde el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), con la Vía Láctea. Crédito: Daniel López/IAC.



En el mes de mayo de 2015 (la noche del 27 al 28), se detectó un fondo de luz verde (en forma de bandas) mientras se estaban realizando imágenes de cielo profundo en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma. Además, también se registró una evolución de estas bandas a lo largo de la noche.

El fenómeno, conocido como *airglow* (o *nightglow*), aunque morfológicamente (color verdoso y bandas en movimiento) se parece a las auroras polares, su origen es distinto. Mientras las auroras solo pueden verse en los óvalos que rodean a los polos magnéticos, el *airglow* es un fenómeno global de todo el planeta y, de hecho, se ha observado desde distintas latitudes.

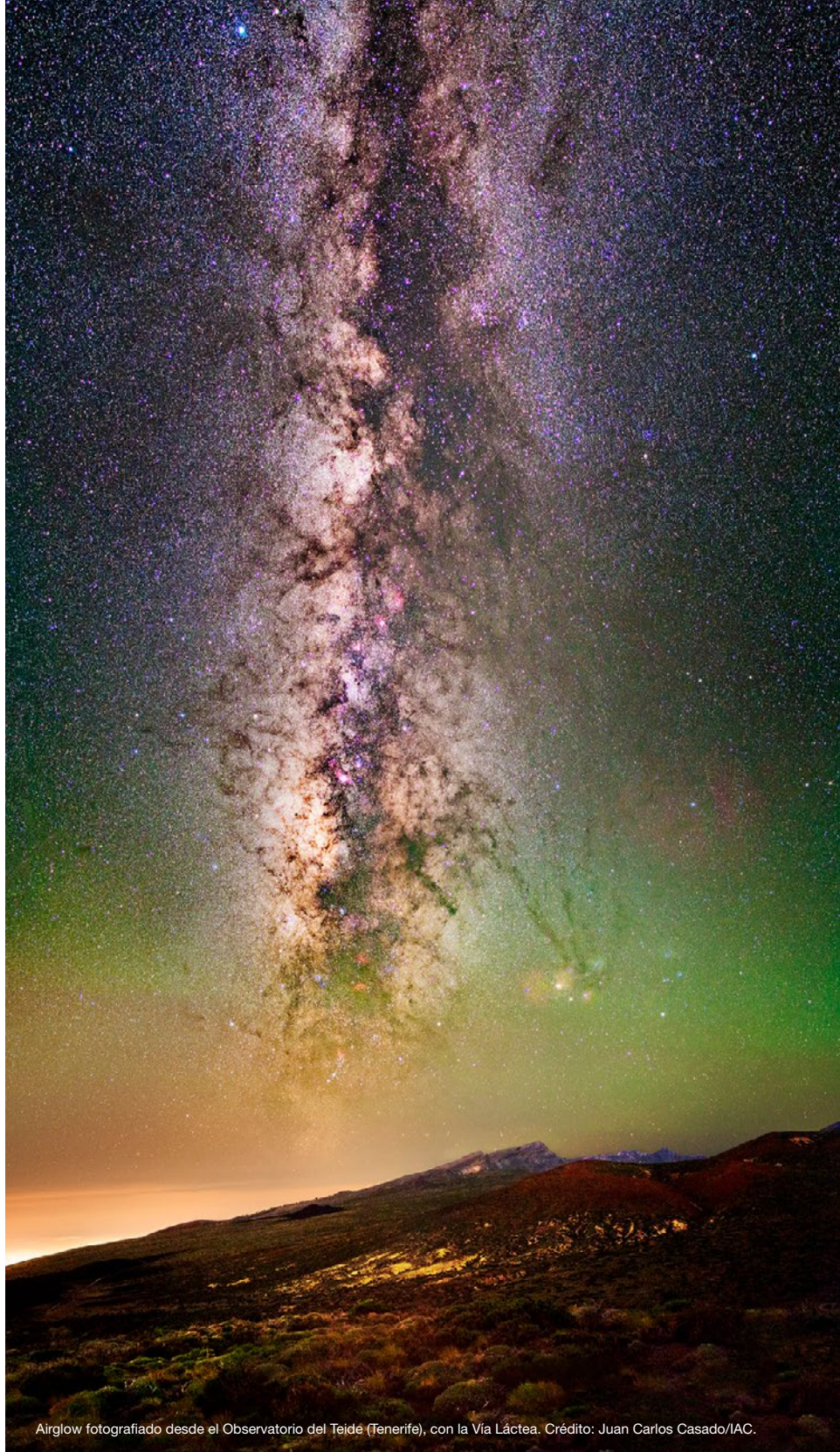
La condición necesaria para la detección del *airglow* es la oscuridad, solo puede observarse desde lugares oscuros pues su brillo superficial es muy bajo.

La principal causa del *airglow* está en la luminiscencia producida por la recombinación de átomos de la alta atmósfera terrestre (ionosfera entre 90-400 km) después de ser ionizados por la luz solar ultravioleta durante el día.

A pesar de que el *airglow* ocupa toda la bóveda celeste, suele detectarse en el horizonte (entre 10 y 20 grados, ver imagen *airglow* desde el Observatorio del Teide, a la derecha) debido a que la profundidad óptica (cantidad de atmósfera que observamos) es mayor.

Inestabilidades gravitatorias producen la formación de bandas (mostrando convergencia en el horizonte por efecto de perspectiva) que además pueden evolucionar con escalas de minutos, como se observa en las imágenes del Observatorio del Roque de los Muchachos, a la izquierda.

MIQUEL SERRA-RICART

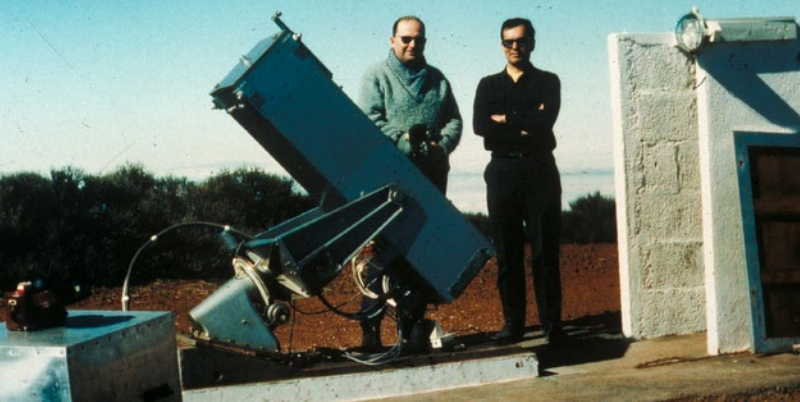


Luz zodiacal

El “falso crepúsculo”
de los árabes

Usando el VLTI (Very Large Telescope Interferometer) se ha detectado, con medidas recientes en el infrarrojo, “exoluz zodiacal” en noventa y dos estrellas. Catorce de esas viejas estrellas de la Galaxia tienen exoplanetas, por lo que su polvo zodiacal es considerado, de manera simplista, un remanente permanente de las colisiones entre los planetesimales de sus nebulosas progenitoras. Pero ¿cómo es posible que estos microgranos originales cargados, sometidos a fuerzas electromecánicas significativas que tienden a dispersarlos, se puedan mantener estables a lo largo de miles de millones de años?





La luz zodiacal, que se observa en nuestra Tierra como un tenue resplandor piramidal, alineado con la eclíptica, visible inmediatamente después del crepúsculo vespertino e inmediatamente antes del matutino, es luz solar dispersada (*scattering*) por las pequeñísimas partículas de polvo interplanetario existentes en el Sistema Solar. Precisamente, la luz zodiacal fue el primer indicio que se tuvo de la existencia del medio interplanetario, y su nombre le viene de ser visible sobre las constelaciones del Zodíaco. El eje de esta pirámide coincide prácticamente con el del plano invariable del Sistema Solar (plano del máximo de Aries, de Laplace), que forma solo un ángulo de un grado y treinta y seis minutos con la eclíptica. Dada la morfología de la nube zodiacal y su naturaleza es bien lógico que tenga simetría heliocéntrica y se sitúe en el mismo plano en que orbitan los principales planetas. Podemos imaginarla de forma lenticular extendiéndose al menos hasta la órbita de Júpiter, con un agujero en su centro, donde se sitúa el Sol.

Ya en mayo de 1977, en un artículo de puesta al día divulgativo sobre la luz zodiacal para *Investigación y Ciencia*, subrayamos que “la materia micrometeoroidea no puede ser permanente y estable. La constancia global observada en la luz zodiacal resulta de un equilibrio dinámico en la densidad del polvo interplanetario”. Éste era el resumen con que se titulaba el trabajo. Más adelante concretaremos las poderosas razones que apoyan esta afirmación y tiran por tierra la simplificación sobre el origen primigenio del polvo causante de la exoluz zodiacal observada en estrellas.

El espectáculo de la pirámide rosácea de luz zodiacal subiendo casi hasta el zénit, como se puede contemplar a simple vista desde las limpias cumbres de Canarias, en los meses en que la eclíptica queda más perpendicular respecto al horizonte, es hermoso e inquietante. Este “falso crepúsculo”, como lo llamaron los árabes, es un fenómeno poco conocido entre el gran público porque la contaminación lumínica moderna impide ver este regalo visual de la naturaleza.

EL TELESCOPIO DE BURDEOS

Iniciamos, en 1964, observaciones detalladas de la luz zodiacal sobre toda la bóveda celeste desde el primitivo Observatorio del Teide, en Tenerife. Y éste es el origen del grupo pionero de investigación astrofísica en España, que recibió el nombre de “Sección de Luz de Cielo Nocturno” dentro del pre Instituto de Astrofísica de Canarias. Ello fue posible gracias a haber conseguido para el Observatorio que se quería hacer en Canarias,

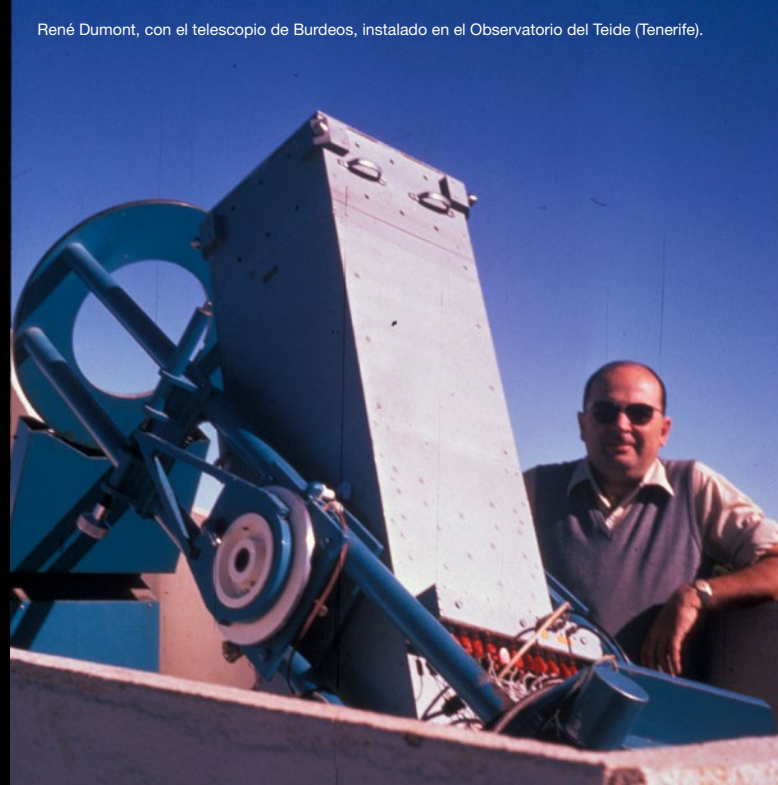


por fin, un instrumento profesional. Se trataba de un telescopio fotopolarimétrico espectral de 30 cm de diámetro muy avanzado en su época, especialmente diseñado para medir fuentes difusas y que hoy puede contemplarse como escultura en el descansillo que hay frente a la biblioteca del IAC. Con datos de este instrumento se hicieron las primeras tesis doctorales de la astrofísica española.

Conseguirlo llevó su tiempo y aunar voluntades. La historia comenzó en 1962, cuando en el Observatorio de la Alta Provenza conocí al astrónomo francés René Dumont. Nos caímos bien, le animé a que se viniese con su familia de vacaciones a Tenerife y me comprometí a buscarle alojamiento en el Observatorio Meteorológico de Izaña, donde yo residía. Vinieron y pudo comprobar las buenas condiciones del lugar para la observación. Como él estaba construyendo un telescopio especialmente diseñado para medidas de luz zodiacal en el Observatorio de la Universidad de Burdeos, le convencí para que lo probase en Canarias. A finales de 1963 estaba el telescopio en el muelle del puerto de Tenerife y en enero del 1964 en el Observatorio del Teide. La expedición francesa, formada por René Dumont y Guy Soulié tenía fondos solo para un par de meses, pero los resultados fueron tan buenos que me atreví a proponerles, antes de que se fuesen, un trato: ya que en Burdeos no podrían observar, ¿por qué no dejaban su telescopio en Tenerife? Yo me encargaría de las observaciones y lo explotariamos al alimón. Consultaron con su Director y aceptaron el negocio. Este acuerdo con la Universidad de Burdeos fue el modelo que utilizamos para los posteriores acuerdos de cooperación que han ido llenando de telescopios los Observatorios de Canarias. Su esencia: tenemos un cielo excelente y vosotros unos instrumentos magníficos, nosotros ponemos el cielo (el terreno), vosotros los telescopios, y trabajamos juntos.

Debemos estar muy agradecidos en el IAC al Dr. René Dumont que nos inició en la astrofísica observacional moderna y nos prestó su telescopio.

En la década de los sesenta y setenta estábamos empeñados en demostrar las excepcionales condiciones astronómicas de las cumbres de Canarias, para atraer a los telescopios europeos más avanzados. Y los resultados del telescopio de Burdeos sirvieron, también, para mostrar con datos su extraordinaria transparencia, cercana a la difusión molecular teórica a nuestra altitud.



LA LUZ DEL CIELO NOCTURNO

Lejos de las ciudades, en lugares sin contaminación lumínica, durante las noches sin Luna, se percibe el ambiente bañado con una tenue claridad que no produce sombras: es la luz del cielo nocturno. En realidad, es una mezcla de luces de muy distinto origen. Cuando un telescopio observa desde la superficie terrestre capta mezclas: luz de las altas capas de la atmósfera (airglow); luz zodiacal (del medio interplanetario); luz estelar (del conjunto de las estrellas); luz galáctica (de nuestra galaxia); y luz extragaláctica (del resto de objetos celestes luminosos). Precisamente, la mayor dificultad para medir cada una de estas componentes es su complicada separación.

La Sección de Luz de Cielo Nocturno disponía, además del telescopio de Burdeos, de un telefotómetro doble semiautomático especialmente concebido para fotometría espectral del airglow, equipado con ocho filtros interferenciales centrados en las principales rayas y bandas emitidas por la alta atmósfera. En 1973, según consta en los archivos, se observaron 260 horas con el telescopio de Burdeos y 720 horas con el telefotómetro doble. Hay miles de registros de datos de luz zodiacal y de airglow.

entre el plasma solar y las partículas zodiacales cargadas; más las derivadas de la existencia de campo magnético en el espacio interplanetario, que tienden a aumentar la inclinación de sus órbitas, con una componente radial y otra polar. Para ciertos tamaños de las partículas, algunos de estos procesos las forzarán a emigrar fuera del Sistema Solar en tiempos inferiores al año. Pero incluso los lentos efectos gravitatorios, que llevan actuando unos cinco mil millones de años, son capaces de limpiar el espacio interplanetario del polvo cósmico original.

No hay más remedio que buscar eficaces procesos de inyección de partículas para explicar la permanencia de la luz zodiacal, y de igual manera la exoluz zodiacal. Los principales procesos propuestos son: desintegración cometaria; fraccionamiento colisional de asteroides; captura de granos interestelares; y condensación del gas interplanetario. Ya hace más de cincuenta años, nosotros

propusimos y buscamos “estelas” o “cicatrices” transitorias en la nube zodiacal (zonas de densidad alterada), para rastrear tanto los efectos de inyección como los de limpieza.

Las cuestiones claves a resolver son el tamaño y la naturaleza de los pequeños cuerpos interplanetarios, así como su origen y su evolución, pues todo ello es muy relevante para los modelos de formación y evolución de los sistemas estelares. Asunto del máximo interés, más en estos momentos en que va habiendo cada vez más razones para creer que son pocas las estrellas sin cohorte de planetas. Todo lo cual hace que hayan cobrado nueva relevancia los estudios sobre la luz zodiacal. Y desde luego, para avanzar, son determinantes las medidas de polarización y espectroscópicas en todas las longitudes de onda, que tienen que seguir mejorando, tanto las que se lleven a cabo en tierra como desde el espacio.

FRANCISCO SÁNCHEZ



Auroras Polares

Magia en Islandia y sur de Groenlandia

La actividad solar se define a partir del conteo de grupos y manchas en la superficie solar (fotosfera) y al número resultante se le denomina “número de Wolf”. Analizando todos los datos disponibles, sabemos que el ciclo de actividad solar es de aproximadamente 11 años, es decir, cada 11 años aumenta el número de manchas solares que observamos en la fotosfera solar (como la polaridad magnética del Sol también se invierte cada 11 años, si queremos ser rigurosos debemos hablar de un ciclo de actividad de 22 años). Una de las consecuencias de los máximos solares es que el Sol incrementa la emisión de partículas elementales muy energéticas (el viento solar), lo que se conoce como tormentas solares. Los principales efectos de los máximos solares en la Tierra son los siguientes:

1. Problemas de interferencias en las redes de comunicación (terrestres y satélites).
2. Posibles problemas en los suministros eléctricos debido a la llegada masiva de electrones a la superficie terrestre.
3. Posibles efectos en el clima terrestre.
4. Aumento de la frecuencia y luminosidad de las auroras polares.

La tormenta solar de 1859, conocida también como “evento Carrington” por el astrónomo inglés Richard Carrington primero en observarla, es considerada la tormenta solar más potente registrada de la historia. En el año 1859 se produjo una gran eyección de masa coronal o fulguración solar. A partir del 28 de agosto, se observaron auroras que llegaban hasta el Caribe. El pico de intensidad se produjo entre el 1 y el 2 de septiembre, y provocó el fallo de los sistemas de telégrafos en toda Europa y América del Norte. También es conocido que en el máximo solar ocurrido en el

El Sol mostrará una actividad alta hasta finales del año 2016. El máximo se alcanzó a mediados del año 2014 y es el número 24 desde que empezó a medirse de forma cuantitativa (a mediados del siglo XVIII).

año 1989, y durante intensas tormentas solares, varias ciudades del norte de los Estados Unidos y Canadá tuvieron graves problemas en el suministro eléctrico.

La relación entre la actividad solar y el clima terrestre es un tema a debate en los últimos años. Hay indicios que hacen pensar que, durante los mínimos de actividad solar, la Tierra sufre un enfriamiento. Entre los años 1645 y 1715 se midió un mínimo solar prolongado el “mínimo de Maunder” que provocó una pequeña edad de hielo en el planeta, con efectos constatados en el Norte de Europa.

Finalmente, durante los máximos solares hay un aumento del viento solar y, por tanto, crece el flujo de partículas elementales que, al llegar a la Tierra, son dirigidas hacia los polos magnéticos provocando, al interactuar con la atmósfera terrestre, las auroras boreales (hemisferio norte) y las auroras australes (hemisferio sur).

La mejor zona para la observación de las Auroras Boreales se localiza en un círculo alrededor del Polo Norte magnético (entre 60 y 70 grados de latitud norte). Debido a que el polo norte magnético se encuentra situado al noroeste de Groenlandia (no coincide con el Polo Norte geográfico), el sur de Groenlandia e Islandia son buenas plataformas de observación.

Las auroras están formadas por inmensas cortinas luminosas, rápidamente cambiantes y de varias tonalidades (ver imagen 3). La emisión de luz se produce en baja atmósfera (entre 100 y 400 km) y se debe a los choques del viento solar (esencialmente electrones) con átomos de oxígeno (tonos verdosos, ver imagen 1) o moléculas de nitrógeno (tonos rojizos, ver imagen 2). En el año 2000 se detectaron intensas auroras coincidiendo con un periodo de máxima actividad solar.

Varios proyectos de investigación del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) dirigen su mirada al Sol para entender cómo funciona. Además, el Observatorio del Teide, administrado por el IAC, posee la mayor batería de Telescopios Solares del mundo, entre los que cabe destacar el GREGOR (del Instituto Kiepenheuer de Física Solar de Friburgo, Alemania), que con su avanzada instrumentación tiene un claro objetivo: entender el proceso de formación y evolución de las manchas solares.



A pesar de que en el último año el Sol ha estado “muy activo” se ha medido un número máximo de Wolf de 80, el actual máximo no es un “máximo potente”. En el anterior ciclo solar (mediados del año 2000), el número de Wolf alcanzó el valor de 150 mientras que en el “gran máximo” del año 1959 superó los 200.

Como astrónomo del IAC y dirigiendo las expediciones organizadas por Shelios (shelios.org), he podido observar Auroras Boreales desde el sur de Groenlandia (Narsarsuaq) durante los dos últimos máximos solares (viajes realizados a finales de agosto de los años 2000, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015).

Nuestras expediciones tienen una duración aproximada de 7 días y no he podido verificar diferencias cuantitativas entre los máximos 23 y 24. Hemos observado auroras en todas las noches despejadas (alrededor de un 50%) localizadas, normalmente, en el cuadrante noroeste del cielo (dirección del polo norte magnético visto desde el sur de Groenlandia).

La mayor actividad auroral la vivimos el día 21 de agosto de 2014 cuando una tormenta solar geoelectiva alcanzó nuestro planeta. Esa noche y durante aproximadamente una hora, las auroras llenaron todo el cielo con una intensidad y movimientos inusuales. Sin duda, fue la mejor noche vivida en Groenlandia.

Además, desde los proyectos europeos GLORIA y STARS4ALL y en el portal skylive.tv es posible seguir en directo las últimas tormentas de auroras contempladas en Groenlandia e Islandia.

MIQUEL SERRA-RICART



Arcos de aurora sobre Kaunispää Hill, Laponia, al norte de Finlandia (J.C. Casado, staryearth, APOD 8 abril 2016).



Registros de auroras boreales

Reconstruyendo el pasado (1600 - actualidad)

En el siglo XIX, el geólogo británico James Hutton (1726–1791) estableció un principio según el cual el presente es la clave para entender el pasado. Además de la plena vigencia en los estudios de su campo para conocer el pasado de nuestro planeta, el principio también se aplica a otras ramas del conocimiento, como puede ser la actividad magnética del Sol. Fundamentalmente, desde la publicación, en 1976, de un artículo de Jack Eddy sobre variaciones de largo periodo de la actividad solar, ha crecido el interés por conocer cuál ha sido el comportamiento de nuestra estrella en los últimos cientos/miles de años. Varios indicadores se han utilizado al respecto, destacando el número de manchas y las concentraciones de varios isótopos radioactivos, como el ^{14}C y el ^{10}Be .

(Para una descripción de los indicadores que utilizan fuentes documentales, ver el libro *The Sun Recorded Through History*, de J.M. Vaquero y M. Vázquez). De todos ellos, hemos puesto nuestro interés en las auroras boreales, también llamadas luces del norte o polares, por la facilidad con que pueden ser observadas, ya que ocupan una fracción suficiente del cielo y no necesitan otros instrumentos que los ojos o análisis detallados de laboratorio. Por consiguiente, sus apariciones no están documentadas tan solo por científicos o personas especialmente ilustradas.

Durante muchos siglos, las auroras eran una curiosidad que se documentaba por el impacto que producían sobre la población. Como todo lo que perturbaba la armonía de los cielos, se asociaba a malos presagios. Un trabajo de Edmund Halley sobre la aurora boreal observada en Inglaterra el 17 de marzo de 1716 hizo que la clase científica se interesara en dicho fenómeno atmosférico relacionándolo con el campo magnético terrestre. Desde entonces, las auroras empezaron a formar parte de los registros rutinarios de numerosos observatorios meteorológicos. La situación cambió al final de la Segunda Guerra Mundial. Como una de las consecuencias laterales del conflicto bélico, se había puesto en evidencia la influencia de las tormentas solares en las comunicaciones terrestres. De ahí nació el interés por comprender el fenómeno a partir de estudios detallados de eventos concretos. Las auroras habían pasado de la Meteorología a la Geofísica, proceso que se incrementó con la llegada de la Era espacial. Esta tendencia se refleja en nuestros registros de auroras, que muestran un claro descenso de 1960 a 1990. En la actualidad, asistimos a un renacimiento en los informes de auroras debido a la utilización de la fotografía digital y su difusión a través de Internet. Especial cuidado hemos de tener en seleccionar sólo aquellas imágenes de auroras lo suficientemente brillantes para que hubieran sido también observadas a simple vista.

Hoy en día, las observaciones del Sol desde tierra y desde el espacio, junto con el desarrollo teórico, nos proporcionan una visión bastante completa sobre las tormentas solares. Resumiendo, podemos decir que tenemos: a) una liberación repentina en la atmósfera solar de miles de millones de toneladas de partículas subatómicas cargadas eléctricamente (una emisión coronal de masa); b) su viaje por el medio interplanetario guiadas por el campo magnético; c) si la dirección de dicho campo magnético es la adecuada, se producirá el impacto de dicha nube de partículas contra la magnetosfera de nuestro planeta; y d) en determinadas condiciones -polaridad magnética sur-, estas partículas perforan la magnetosfera terrestre y, entre otros fenómenos, dan lugar a las auroras. El número de las auroras crece espacialmente con la latitud geomagnética terrestre y temporalmente con el ciclo de actividad de 11



Aurora boreal observada desde las Cañadas del Teide el 20 de noviembre de 2003. Cortesía G. Perkin

años. Las auroras boreales son simétricas a las australes, con lo que el estudio de las primeras representa la totalidad del proceso.

Nuestro primer interés al iniciar el trabajo fue centrarnos en fuentes hispanas de observaciones aurorales en latitudes bajas que habían pasado inadvertidas en el mundo anglosajón. Canarias era uno de estos lugares y con un tanto de suerte pudimos encontrar referencia a unas 11 auroras, con la observada por José Viera y Clavijo en 1770 como la primera y la de la imagen superior como la última. Pronto nos dimos cuenta de que dichas observaciones eran más importantes en cuanto se entendieran en un marco global.

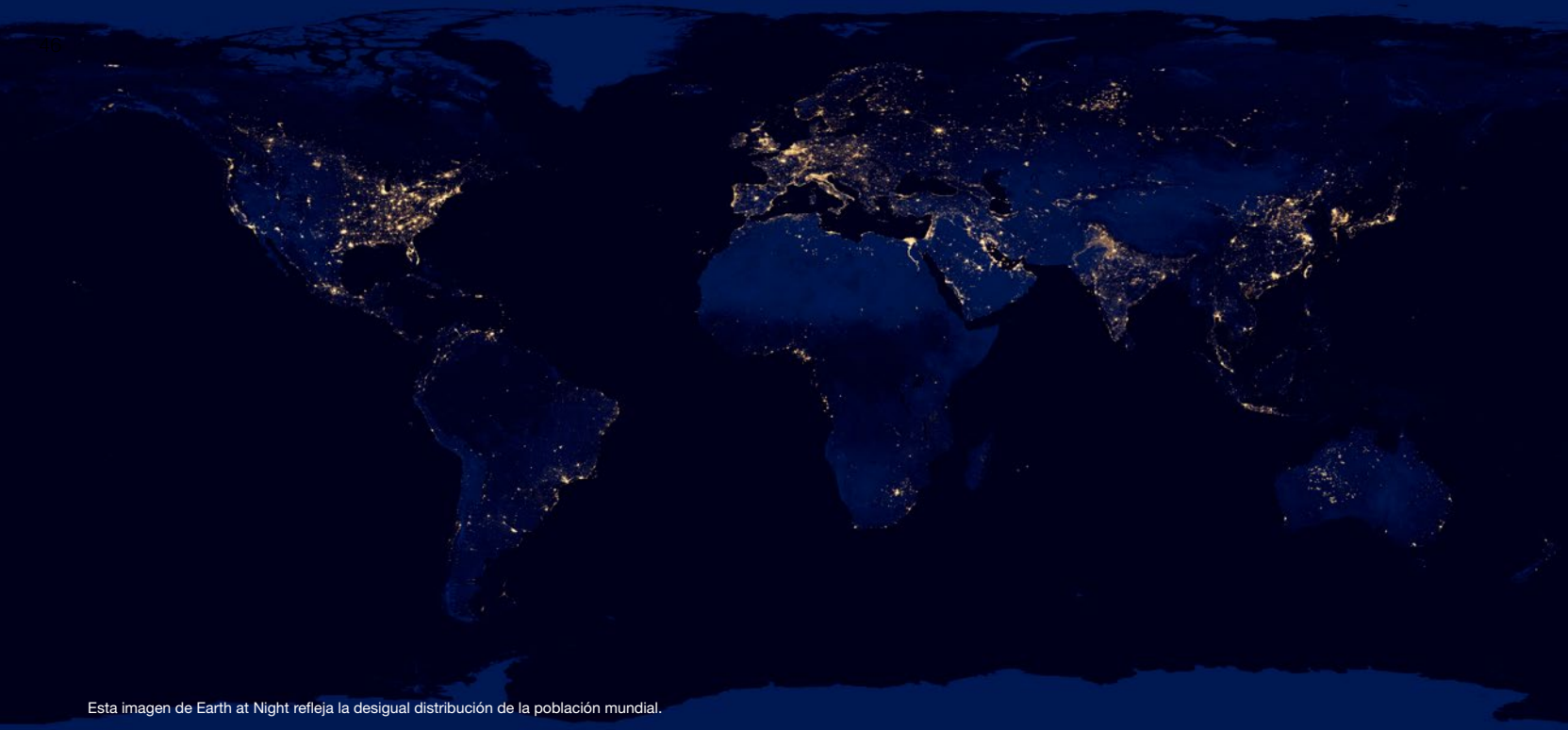
UN CATÁLOGO DESDE 1600

Hace unos años iniciamos un proyecto para reconstruir la actividad solar en el pasado

utilizando, en este caso, observaciones de auroras boreales a partir de diferentes fuentes. Nuestra intención es cubrir el periodo desde 1600 hasta la actualidad.

Nuestro catálogo incluye unas 150.000 observaciones correspondientes a unas 36.000 auroras. Tenemos dos parámetros de partida para nuestro estudio: su variación temporal y su distribución en latitud, que nos da una idea de la intensidad del fenómeno. Para nuestra recopilación no hemos partido de cero, ya que contábamos con la existencia de una serie de catálogos globales hasta el siglo XIX (Fritz, Angot, Tromholt, etc.) y de una serie de registros legados por S. Silverman. Sin embargo, el trabajo de identificación, comprobación y búsqueda de nuevos datos ha sido arduo. Para cada observación hemos obtenido sus coordenadas geográficas y las hemos transformado en geomagnéticas, teniendo en cuenta la variación temporal de la posición del Polo Norte magnético.

Las principales lagunas espaciales en el catálogo se derivan de la desigual distribución de la población con la longitud geográfica. Hasta finales del siglo XVIII, toda la información de la zona norteamericana provenía de lo que se conoce como Nueva Inglaterra. Progresivamente se produce



Esta imagen de Earth at Night refleja la desigual distribución de la población mundial.

una expansión hacia el norte, oeste y sur de la zona de auroras observadas en paralelo con el de la población. En lo que respecta a Asia, la situación es mucho más complicada ya que, aparte de su lejanía del polo norte magnético -menor posibilidad intrínseca de auroras-, tenemos la existencia de grandes zonas escasamente pobladas incluso en la actualidad.

Como cualquier otra observación astronómica desde la superficie terrestre, la cobertura de nubes es un factor limitante en las observaciones de auroras. Aunque existen datos actuales de la variación de la nubosidad promedio con la latitud, resulta muy arriesgada su extrapolación al pasado. También hemos de resaltar que, no en pocos casos, se ha producido una confusión con otros fenómenos atmosféricos, como las nubes noctilucuentes o los atardeceres rojizos.

Resulta curioso, aunque también esperable, que desde los años cuarenta del siglo pasado han disminuido drásticamente las observaciones de auroras en las grandes ciudades.

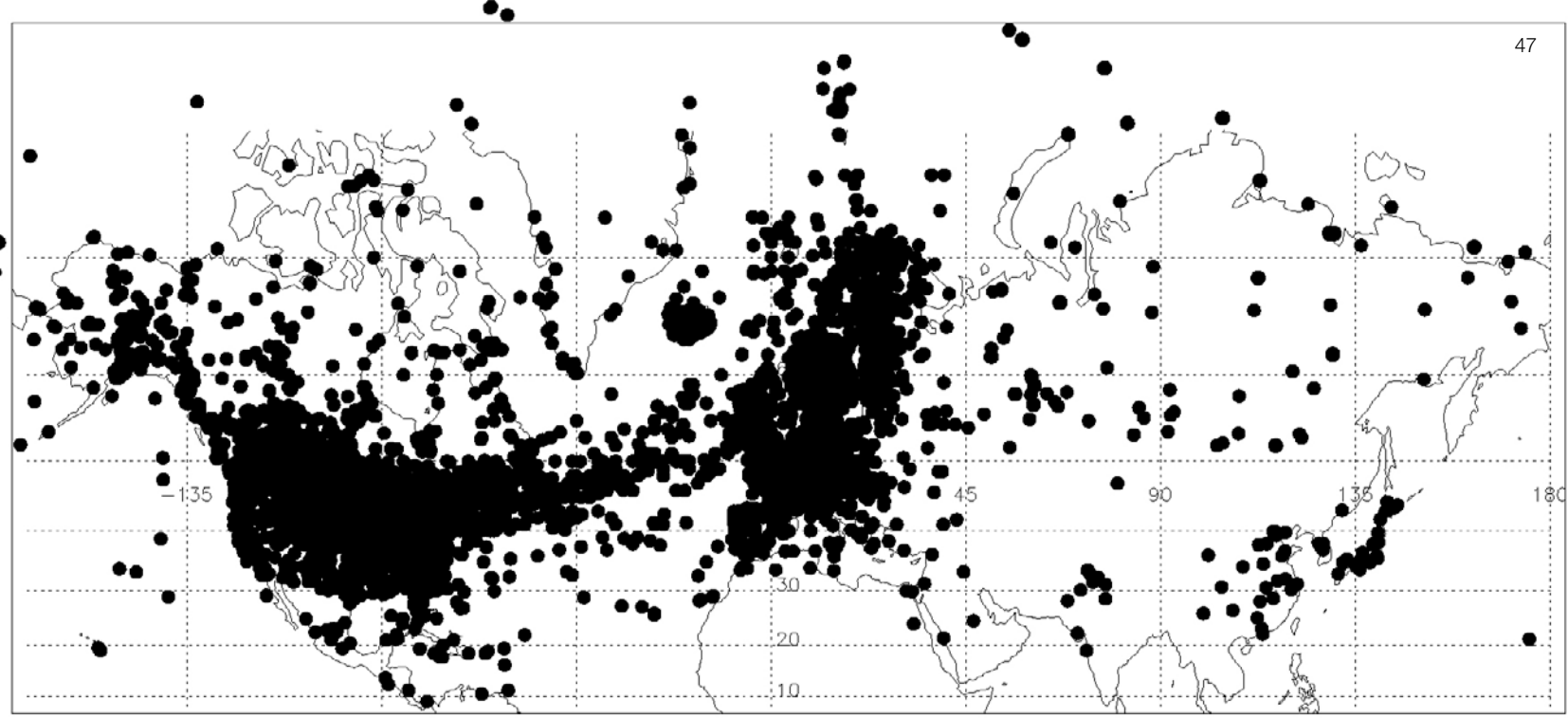
Para el análisis de esta base de datos, como comentábamos al principio, estamos partiendo de los conocimientos actuales que nos permitirían saber más sobre el pasado reciente. Un primer trabajo ya ha sido publicado cubriendo el periodo de 1700 a 1905. Hemos demostrado la fiabilidad de nuestros datos como representativos de la actividad solar y hemos ideado un método para discriminar entre los dos principales tipos de fuentes solares: a) las emisiones coronales de masa, originadas en zonas de topología magnética cerrada (los bucles de la atmósfera solar) y b) los agujeros coronales caracterizados por una topología magnética abierta al medio interplanetario.

En la actualidad, ya disponemos de un catálogo bastante completo desde 1600 hasta nuestros días, en cuyo análisis estamos trabajando. En todo caso, este catálogo siempre estará abierto a nuevas actualizaciones.

MANUEL VÁZQUEZ ABELEDO

Participantes en el Proyecto:

M. Vázquez y P.L. Pallé, T. Roca Cortés (IAC)
J.M. Vaquero y M.C. Gallegos (Universidad de Extremadura)



Mapamundi con los lugares donde se ha informado de la aparición de auroras al menos una vez en el Hemisferio Norte durante el período 1700-1905.



Aurora sobre el glaciar Vatnajökull (Islandia). Crédito: Daniel López.

Solarigrafía

Congelando las trazas del Sol en el cielo

En el año 2000, Sławomir Decyk, Paweł Kula y Diego López Calví inventaron la solarigrafía, una técnica que permite registrar trazas del Sol en el cielo durante periodos largos de exposición. Es una combinación entre la fotografía estenopeica y un enfoque totalmente innovador en el uso del papel fotográfico. La fotografía en blanco y negro es en sí misma fotosensible. La luz incidente causa el oscurecimiento del papel sin la intervención de ningún proceso químico. Esta propiedad del papel es conocida desde hace bastante tiempo, pero no ha sido aplicada debido a la baja sensibilidad efectiva. Nunca antes se había experimentado una exposición de papel fotográfico sin el uso de un revelador y un fijador. El uso de papel seco en combinación con cámaras estenopeicas alarga los tiempos de exposición desde un día a seis meses o más. La cantidad de luz que atraviesa la mirilla de la cámara (con un diámetro menor de un milímetro) vuelve invisibles los objetos que se mueven en los gráficos solares. No aparece ninguna persona, animal o coche en la calle. Sólo permanece lo que estuvo quieto durante todo el tiempo de exposición, excepto un objeto, que fue registrado en movimiento: el Sol. He aquí la gran oportunidad del uso de solarigrafías con fines astronómicos.

Esta técnica no requiere ningún equipo fotográfico especial. Casi todo se puede comprar en una tienda de ultramarinos. Para empezar, se necesita una "cámara". Podría ser una lata de aluminio de cerveza (0,5 l), una lata de refresco (0,33 l ó 0,25 l), un tubo negro cilíndrico de negativos u otro cualquiera siempre y cuando se pueda cerrar completamente. Si se usa la lata de aluminio, necesitaría cortarse la tapa con un abrelatas o un cuchillo. Luego se hará un pequeño agujero de un milímetro de diámetro o menos con una aguja. Cuanto más pequeño, más nítida será la imagen y mayor el tiempo de exposición. Algunas veces, esto es lo que realmente se



busca: la mayor exposición posible. El agujero puede hacerse desde dentro, manteniendo una aguja con los alicates. Después pueden aplanarse los bordes del agujero de la mirilla, con lo que las imágenes sufrirán menos el efecto de viñeteado.

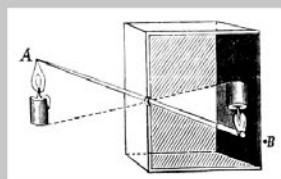
Después de hacer un agujero se pone papel fotográfico en una lata. El papel fotográfico es el único elemento no casero. Se puede encontrar en una tienda de fotografía profesional o por internet. El papel debe ser blanco y negro. Puede que caduque, pero no tendría un gran efecto en la calidad de la imagen porque es usado de un modo que nadie esperaría. La carga del papel no tiene por qué ser realizada en completa oscuridad. Es importante no exponerlo a la luz solar directa. Por ello se debe insertar el papel con la luz de una bombilla colocada en el rincón opuesto de una habitación. Se pone el papel en la lata (o caja) en frente del agujero. Las esquinas del papel deberían estar selladas en la parte interna de la lata. Esto es necesario debido a que, por los cambios de temperatura y humedad, el papel se podría enrollar. Después, se usa cinta aislante de color negro y se tapa firmemente la lata para que no entre nada de luz en ella. El artefacto deberá ser colocado en un lugar que se mantenga intacto durante el tiempo de exposición previsto. Para este fin, debería estar fijado en una estructura estable. Puede ser un balcón, una barra, unos raíles, un árbol, etc. Se debe considerar qué dirección será mejor en cada caso. En un primer momento se coloca la cámara mirando al sur. El campo de visión



Preparación de la cámara



Cámaras instaladas



El principio de la cámara oscura

Escaneo



Post-procesamiento

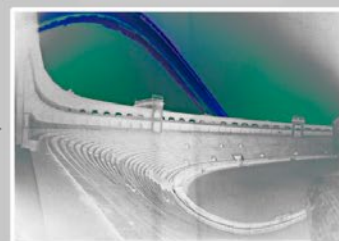
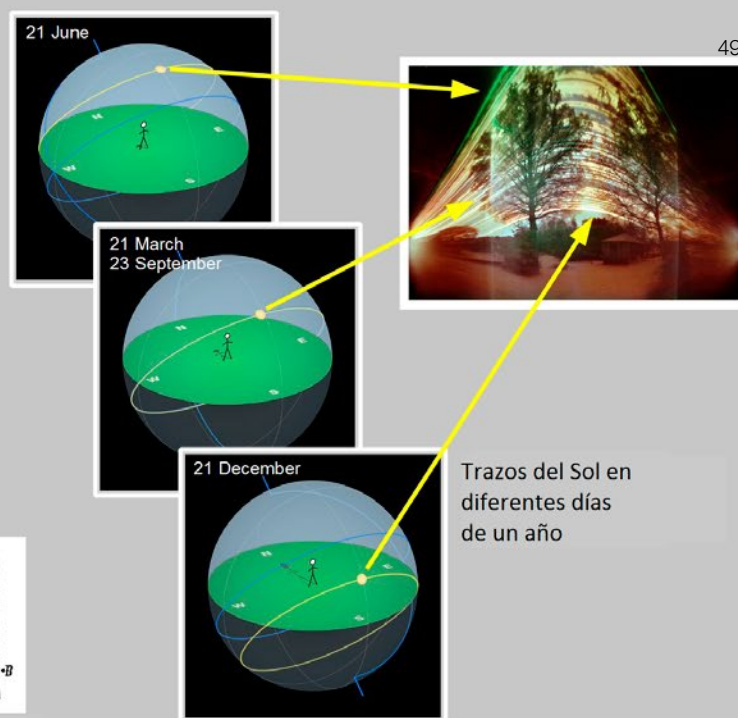
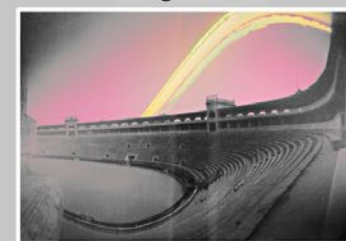


Imagen final



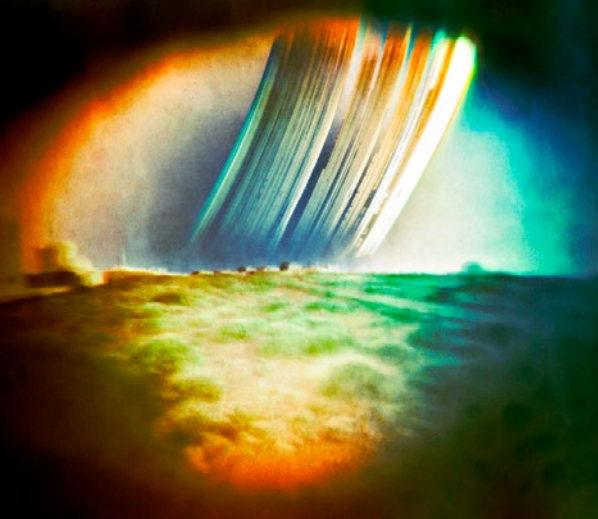
Trazos del Sol en diferentes días de un año

de la cámara es de 180 grados en el axis horizontal y en torno a 90 grados en el vertical. Después de arreglar la cámara, se debe quitar el fragmento de cinta aislante y ser paciente. Una vez completada la exposición del Sol, se debe extraer el papel y escanearlo. Bajo ningún concepto se usará revelador o fijador. Tampoco se deben realizar previsionados ya que la luz del escáner directo destruiría la imagen. Debe elegirse un formato de escaneado sin pérdidas, como BMP o PNG con una resolución de 600 o 1200 DPI. Luego, con la ayuda de un programa gráfico, se necesita aplicar las siguientes operaciones: *mirror flip*, inversión del color y corrección del color.

En cada solarigrafía, se pueden ver muchas líneas curvas. Son rastros solares. Cada línea recta se corresponde con un día despejado. Las discontinuidades se deben a

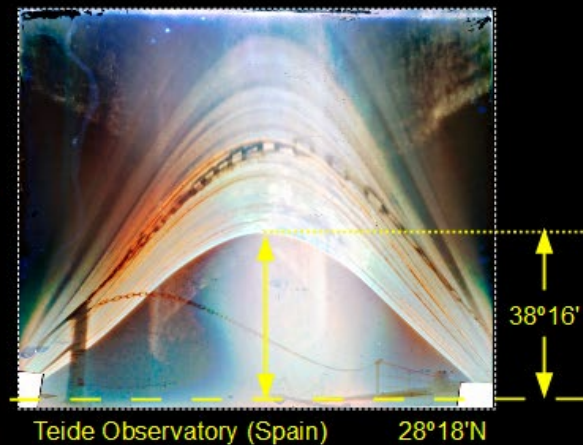
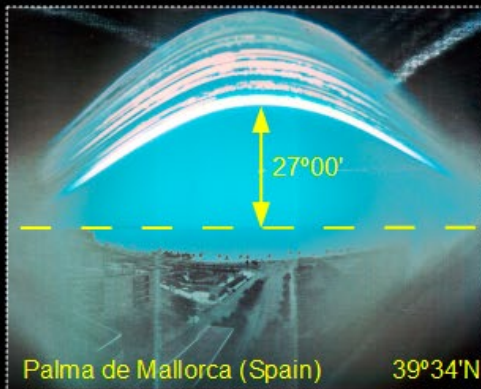
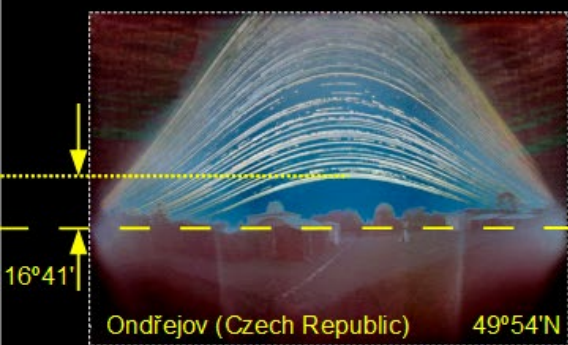
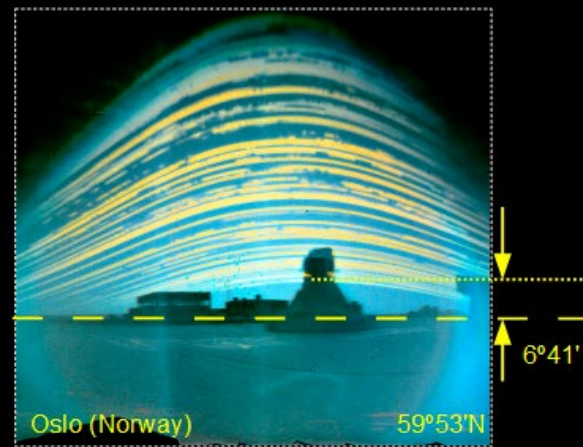
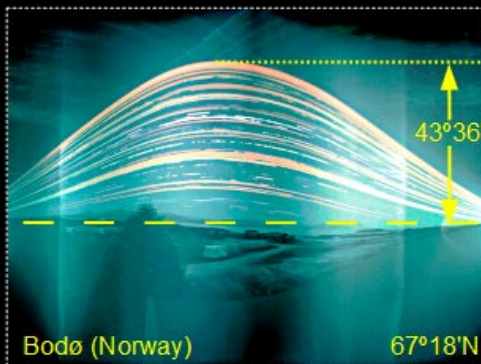
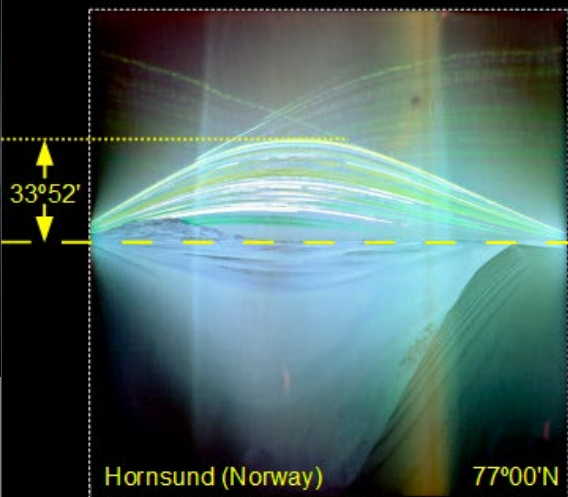
periodos de nubosidad. Si la exposición se hace desde un solsticio a otro, la imagen dará un cuadro completo de las posibles posiciones del Sol. Este hecho muestra que la culminación ocurre siempre sobre el mismo punto del horizonte, mientras que el orto y el ocaso ocurren en diferentes ubicaciones. Se pueden ver cambios de la altura del Sol por encima del horizonte. Si se comparan las solarigrafías tomadas desde diferentes latitudes, se pueden ver los cambios globales de la latitud solar.

Una solarigrafía bien hecha tiene un valor educacional indiscutible. Muestra claramente los movimientos solares en el cielo. Lo recomendaría especialmente a los profesores que estén introduciendo los conceptos básicos de Astronomía. La cámara de solarigrafía es muy simple y barata y los resultados finales son siempre



Solargraphs in different locations

Compilation taken during period 2008-2015



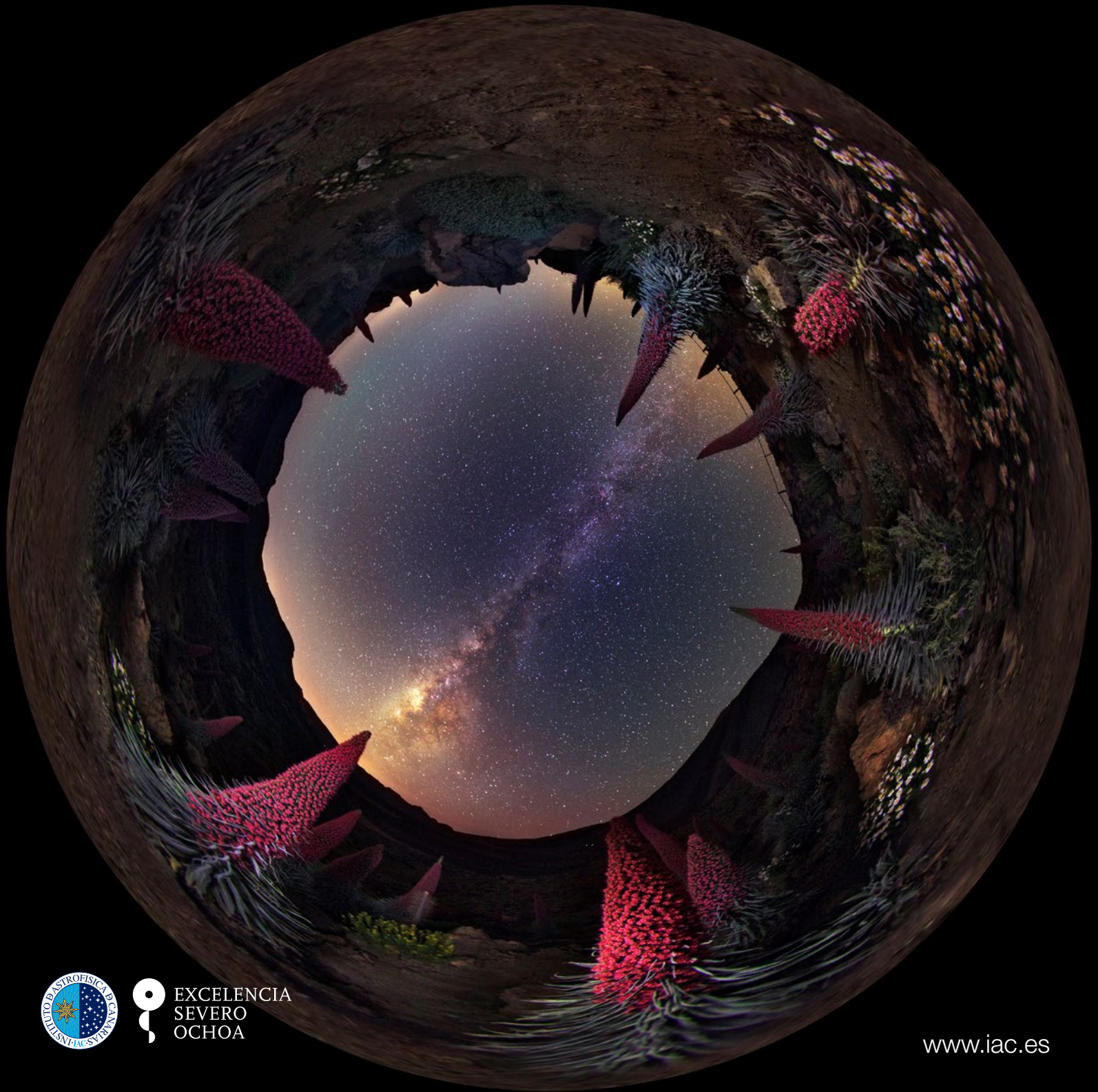
Credits: Hornsund - Daniel Kępski, Łukasz Mazurkiewicz, Łukasz Fajrowski, Piotr Modzel and Maciej Zapiór; Bodø - Dawid Guzenda and Maciej Zapiór; Oslo, Ondřejov, Palma de Mallorca, Teide Observatory - Maciej Zapiór.
Thanks: Viggo Hansteen, Jan Starý, Ewa Klembek-Gomez, Pere L. Pallé.

sorprendentes. Da información sobre la nubosidad durante todo el tiempo de exposición en un lugar particular.

La solarigrafía da la oportunidad de ver el mundo que nos rodea como si nuestro pestañeo, en vez de segundos, durase medio año. Comprime largos periodos de tiempo en un único marco. Se pueden ver en una sola imagen fenómenos astronómicos (amaneceres, culminaciones, puestas de Sol) que ocurren en la escala temporal astronómica en una sola imagen. Ninguna otra técnica permite hacer eso. Hay algo mágico en esta técnica. El único objeto dotado de movimiento que puede ser registrado es el Sol. En una

única imagen hay un registro visible de los seis meses. Cada día soleado, cualquier periodo de nubosidad. No hay sombras. Los objetos visibles están encendidos en cada lado. El ser humano no ve estos fenómenos ni demasiado rápido ni demasiado lento: el parpadeo de la imagen en televisión, o del movimiento del Sol a través del cielo. La solarigrafía permite entrar en el área vetada a los sentidos humanos y permite darse cuenta de lo que es normalmente imperceptible.

MACIEJ LUKASZ ZAPIÓR



EXCELENCIA
SEVERO
OCHOA

www.iac.es