

CCI
INFORME ANUAL
2021
ANNUAL REPORT



COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL
DE LOS OBSERVATORIOS DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS Y DEL TEIDE
DEL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS

OBSERVATORIOS DE CANARIAS

Prefacio del presidente	4
Introducción del vicepresidente	6
Resultados científicos	8
Erupción volcánica en La Palma	42
Resultados tecnológicos	46
OCAN y sociedad	74
OCAN y CCI: cifras y datos	84

Foreword by the President	4
Introduction by the Vice-president	6
Scientific Results	8
Volcano Eruption in La Palma	42
Technological Results	46
OCAN & Society	74
OCAN & CCI: Facts & Figures	84

Créditos de imágenes Image Credits

General	Daniel López/UC3
P.15	MPS/Z-C. Liang
P. 24	NASA/ESA/Judy Schmidt
P. 50	M. Peel
P.56	Reiner Volkmer
P. 59	Paolo Calisse

El Tratado Internacional de Astrofísica

El Acuerdo de Cooperación en Materia de Astrofísica y su Protocolo se firmó en 1979, en conjunto con sus adendas, y es conocido como el «Tratado Internacional de Astrofísica». Mediante ello, el IAC ha tenido una base idónea para abrir sus Observatorios de Canarias a la comunidad astronómica internacional. Actualmente hay unas setenta y cinco instituciones científicas pertenecientes a veinticinco países operando sus telescopios e instrumentos en el Observatorio del Teide y en el del Roque de los Muchachos (véase las tablas en las páginas 86 y 87). Cada instalación telescópica es propiedad de una institución o consorcio, que puede ser consecuencia de una colaboración entre dos o más países, y ellos son responsables de la contratación de su personal y de los costes de su operación.

The International Treaty on Astrophysics

The Agreement on Cooperation in Astrophysics and its Protocol was signed in 1979, along with its addenda, and is referred to as the International Treaty in Astrophysics. This provided the IAC with an ideal foundation to open its Observatorios de Canarias to the international astronomical community. In total over seventy five scientific institutions from twenty five countries are currently operating their telescopes and instruments at the Teide & Roque de los Muchachos Observatories (see tables on pages 86 and 87). Each telescope facility is owned by an institution or consortium, which may result from a collaboration between two or more countries. These are responsible for hiring their own staff and meeting their operation costs.

Contact address:

Julia G. Lecuona Allende – CCI Administrative Secretary
Prof Johan H. Knapen – CCI Scientific Secretary

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS
E38200 – LA LAGUNA – Tenerife, Canary Islands
Phone: 34 922 605 220 & 34 683 602 123

cci@iac.es
www.iac.es/cci

Editing & translation: Julia Lecuona & Johan H. Knapen
Design & layout: Julia Lecuona

Legal deposit: TF-500/2022

COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL
«debe preparar informes anuales sobre las actividades
científicas desarrolladas en los Observatorios»
Protocolo del Acuerdo de Cooperación en
Materia de Astrofísica (1979)



INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
“should prepare annual reports on the scientific
activities carried out in the Observatories”
Protocol to the Agreement on Co-operation in
Astrophysics (1979)

Prefacio del presidente Foreword by the President

En el momento en que se escriben estas palabras, Europa se enfrenta a una nueva situación terrible, mientras que la pandemia no ha terminado del todo. Creíamos vivir en un mundo de cooperación abierta en la ciencia. Ahora vemos levantar barreras y aparecer fronteras donde antes solíamos tender puentes.

Sin embargo, estoy convencido de que la ciencia fundamental puede tener un papel crucial para mantener viva la chispa de la cooperación en el planeta. Las leyes de la naturaleza no pertenecen solo a un país. Como dijo Newton, se describen en términos matemáticos, un lenguaje universal en el que no hay malentendidos.

Otro asunto importante en el pasado año fue la erupción del volcán que afectó a la isla de La Palma. Aunque el impacto en las instalaciones científicas fue limitado, la población se vio gravemente afectada. El IAC, también con el apoyo del CCI, promovió iniciativas para ayudar a los residentes, sobre todo orientadas a no interrumpir la formación de los más jóvenes. Creo que es un excelente ejemplo de la integración de infraestructuras científicas con la comunidad local. La ciencia puede estar cerca de la gente, incluso en las situaciones más difíciles.

At the moment these words are being written, Europe is facing a new terrible situation, while the pandemic is not completely over. We thought we were living in a world of open cooperation in science. Now we see barriers being raised and borders appearing where we were used to walk on bridges.

Yet, I am convinced that fundamental science can play a crucial role in keeping alive a spark of cooperation across the entire planet. Laws of nature do not belong to a specific country. As Newton said, they can be described in mathematical terms, which is a universal language with no misunderstandings.

Another major issue in the last year was the volcano eruption that hit the island of La Palma. While the impact on the scientific installations was limited, the population was severely affected. The IAC, also supported by the CCI, promoted initiatives to help the residents, with particular attention to maintaining the education of the youngest. I think this is an excellent example of the integration of scientific infrastructures and the local community. Science can be close to people, even in the most challenging situations.



La Luna sobre el Observatorio del Teide
The Moon above the Teide Observatory

Esta edición del informe de la CCI es muy diferente en su contenido y estructura. Se presentan los logros científicos más destacados obtenidos en los observatorios canario, así como resultados de las observaciones realizadas a través del Programa de Tiempo Internacional del CCI. También incluye informes sobre la construcción de nuevas instalaciones e instrumentos que se están operando en los observatorios.

De entre las muchas noticias relevantes, permítame mencionar los buenos avances en la mirirred de ASTRI y la instalación de la red de telescopios Cherenkov. Con ellas, los observatorios canarios podrán seguir explorando el cosmos a energías extremas, abriendo nuevas ventanas a la ciencia. Esto será de gran interés en la era de las observaciones multi-mensajero. El estudio de la radiación de fondo cósmico de microondas en polarización, otro tema candente, recibirá un gran impacto de las observaciones en las Islas Canarias que explotan los instrumentos actuales y nuevos que se operan allí. Un hito importante que se celebró en 2021 fue el 25 aniversario del Telescopio Nazionale Galileo (TNG).

El CCI experimentó una serie de mejoras significativas en su estructura organizativa. Tras muchos años de servicio, el Sr. Campell Warden se jubiló de su cargo de secretario del CCI. En nombre del CCI, me gustaría transmitirle nuestros mejores deseos para una merecida jubilación. El CCI decidió nombrar un secretario científico, un astrónomo de alto nivel que ayuda al presidente y al vicepresidente del CCI a gestionar las relaciones con los usuarios de los telescopios y la comunidad internacional. Es un honor para nosotros dar la bienvenida al Prof. Johan Knapen en esta función. También damos la bienvenida a la Sra. Julia Lecuona como secretaria administrativa.

El CCI nombró a una asesora científica, la Dra. Heidi Korhonen, para que asesore al CCI en la asignación de tiempo en el marco del ITP (programa de tiempo internacional). El CCI le da la bienvenida a un periodo de servicio de tres años. El CCI quiere agradecer a la profesora Elena Terlevich su larga y apreciada actividad de evaluación de las propuestas del ITP.

En 2022 se renovará el Tratado Internacional para el uso de las Islas Canarias en observaciones astronómicas. La vitalidad de la comunidad de usuarios y la creciente relevancia de la infraestructura astronómica de los Observatorios ponen de relieve la importancia de este acuerdo intergubernamental en beneficio tanto de la comunidad científica internacional como de las comunidades locales. Espero que los próximos diez años de operaciones en los Observatorios de las Islas Canarias sean todo un éxito.

This issue of the CCI report is significantly different both in the content and in its structure. Highlights in scientific achievements obtained at the Canary Island observatories are presented, along with some results of observations using time allocated through the CCI International Time Programme. The reader will also find reports on the construction of new facilities and new instruments being operated at the observatories.

Of many relevant news items, let me mention the good progress on the ASTRI mini-array and the Cherenkov Telescope Array installation. With these, the Canary Islands observatories will be able to further explore the cosmos at extreme energies, opening new windows in science. This will be of high interest in the era of multi-messenger observations. The study of the cosmic microwave background radiation in polarisation, another hot topic, will receive a major impact from observations at the Canary Islands, exploiting the current and new instruments being operated there. One important milestone celebrated in 2021 is the 25th anniversary of the Telescopio Nazionale Galileo (TNG).

The CCI underwent a number of significant improvements in its organisational structure. After many years of service, Mr Campell Warden retired from his position as CCI secretary. On behalf of the CCI, I would like to extend to him our best wishes for a well-deserved retirement. The CCI decided to nominate a scientific secretary, a senior astronomer who helps the CCI president and vice-president manage relations with telescope users and the international community. We are honoured to welcome Prof. Johan Knapen to this role. We also welcome Ms Julia Lecuona as administrative secretary.

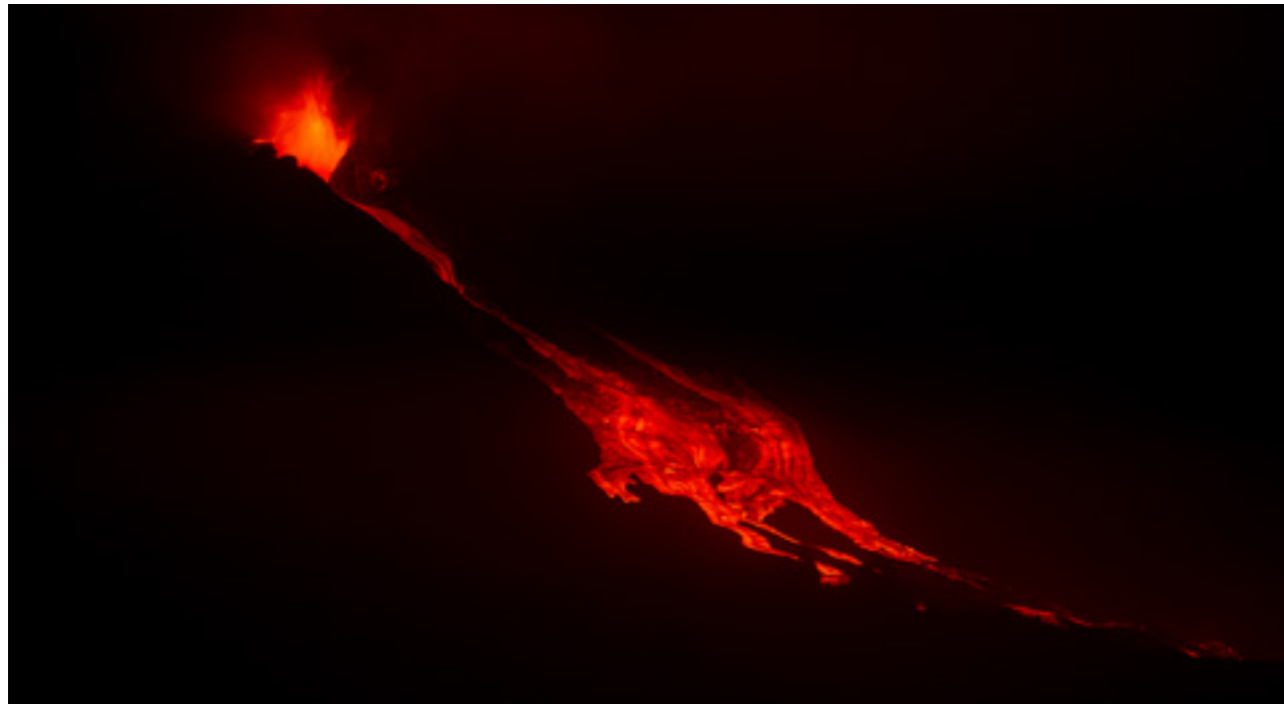
The CCI has nominated a scientific advisor, Dr Heidi Korhonen, to advise the CCI on allocating time under the ITP (international time programme). The CCI welcomes her for a three-year term of service. The CCI wants to thank Prof. Elena Terlevich for her long-term and highly appreciated activity evaluating the ITP proposals.

In 2022 the International Treaty for the use of the Canary Islands for astronomical observations will be renewed. The vitality of the user community and the growing relevance of the astronomical infrastructure at the Observatories emphasise this intergovernmental agreement's importance for the benefit both of the international scientific community and of the local communities. I really look forward to the next ten years of successful operations at the Canary Islands' observatories.

Introducción del vicepresidente Introduction by the Vice-president

El año 2021 perdurará en nuestra memoria por ser el de la erupción del volcán de Cumbre Vieja en la isla de La Palma. Muchos palmeros se vieron afectados por los numerosos daños que causó esta erupción. Expresamos desde aquí nuestra total solidaridad con todos aquellos que han visto su vida alterada dramáticamente por este poderoso fenómeno de la naturaleza.

También transmitimos nuestro agradecimiento por la labor de vigilancia y protección de las autoridades, los servicios de emergencia y el personal científico desplegado en la isla. El IAC y las instituciones del Observatorio del Roque de los Muchachos colaboraron en la monitorización de la erupción desde su comienzo. Las imágenes y datos proporcionados fueron de gran utilidad para predecir el comportamiento de la pluma volcánica.



La lava abriéndose paso hacia el mar.

Lava making its way to the sea.

El IAC, a través de la Fundación Starlight, se ha solidarizado con los afectados aportando y recolectando donaciones económicas propias y de instituciones y amigos, que se trasladaron a los necesitados con la intención de contribuir a aliviar una situación dramática.

El Observatorio del Roque de los Muchachos siguió operativo durante los meses de la erupción. Sin embargo, el Gran Telescopio Canarias, los telescopios Cherenkov y otras instalaciones debieron cerrar a los pocos días de la erupción ante la

The year 2021 will live on in our memory as the year of the eruption of the Cumbre Vieja volcano on the island of La Palma. Many Palmeros were affected by the considerable damages caused by this eruption. We express our full solidarity with those whose lives have been dramatically altered by this powerful natural phenomenon.

We also convey our appreciation for the vigilance and protection work of the authorities, emergency services and scientific personnel deployed on the island. The IAC and the institutions in the Observatorio del Roque de los Muchachos collaborated in the monitoring of the eruption from the very beginning. The images and data provided were very useful in predicting the behaviour of the volcanic plume.

The IAC, through the Starlight Foundation, has shown its solidarity with those affected by contributing and collecting financial donations from itself, institutions and friends, which were transferred to those in need with the intention of helping to alleviate a dramatic situation.

The Observatorio del Roque de los Muchachos remained operational during the months of the eruption. However, the Gran Telescopio Canarias, the Cherenkov telescopes and some other facilities had to close a few days after the eruption due to ash reaching

the observatory and remained so until the end of the eruption to protect their equipment.

Other telescopes operated intermittently, depending on the weather conditions at the time. The seismic movements, although frequent, were always of low intensity and did not cause any damage to the installations.

Fortunately, the protective measures taken were effective against the ash, and no damage was reported, so the telescopes could start their scientific activity shortly after the end of the eruption was declared in

the observatory and remained so until the end of the eruption to protect their equipment.

Other telescopes operated intermittently, depending on the weather conditions at the time. The seismic movements, although frequent, were always of low intensity and did not cause any damage to the installations.

Fortunately, the protective measures taken were effective against the ash, and no damage was reported, so the telescopes could start their scientific activity shortly after the end of the eruption was declared in



El LST en el ORM

The LST at the ORM

poco de decretarse el final de la erupción a mediados de diciembre. Los telescopios del Observatorio del Teide continuaron su funcionamiento durante la erupción sin ningún impacto significativo.

Tras este histórico evento, La Palma ha iniciado su recuperación económica y social. El sector de la astrofísica, que genera un 3 % del PIB de la isla, no será ajeno a esa tarea de reconstrucción, y el desarrollo en los próximos años de los telescopios Cherenkov, del European Solar Telescope, del New Robotic Telescope y la posible instalación del Thirty Meter Telescope pueden, en su conjunto, generar cientos de puestos de trabajo estable y contribuir a duplicar la actual contribución al PIB actual.

El IAC y las instituciones que participan en los Observatorios de Canarias están firmemente vinculadas con la isla y comprometidas a trabajar por su futuro.

mid-December. The telescopes of the Observatorio del Teide continued to operate during the eruption without any significant impact.

After this historical event, La Palma has started its economic and social recovery. The astrophysics sector, which generates 3 % of the island's GDP, will be no stranger to this reconstruction task. The development in the coming years of the Cherenkov telescopes, the European Solar Telescope, the New Robotic Telescope and the possible installation of the Thirty Meter Telescope may together generate hundreds of stable jobs and contribute to doubling the current contribution to the island's GDP.

The IAC and the institutions participating in the Observatorios de Canarias are strongly linked to the island and committed to working for its future.



**RESULTADOS
CIENTÍFICOS**

**SCIENTIFIC
RESULTS**

Retroalimentación estelar en el centro de galaxias similares a la Vía Láctea

Stellar feedback at the centre of Milky Way-like galaxies

La teoría actual para la formación de estructuras en el Universo se basa en el modelo de Materia Oscura Fría, que predice que el crecimiento de estructuras ocurre jerárquicamente: las fusiones de estructuras más pequeñas van creando sistemas más grandes. Este escenario funciona bien con galaxias elípticas masivas, donde las estrellas se mueven principalmente en direcciones aleatorias. Sin embargo, los discos de las galaxias espirales son sistemas frágiles que pueden no sobrevivir al violento proceso de fusión con otra galaxia. La pregunta es: ¿cómo se construyen espirales masivas sin bulbo? Recientemente, las simulaciones cosmológicas hidrodinámicas han creado galaxias enanas sin bulbo utilizando la retroalimentación estelar debida a supernovas, pero se necesita más evidencia observacional y teórica para demostrar que esta solución funciona también para las galaxias masivas.

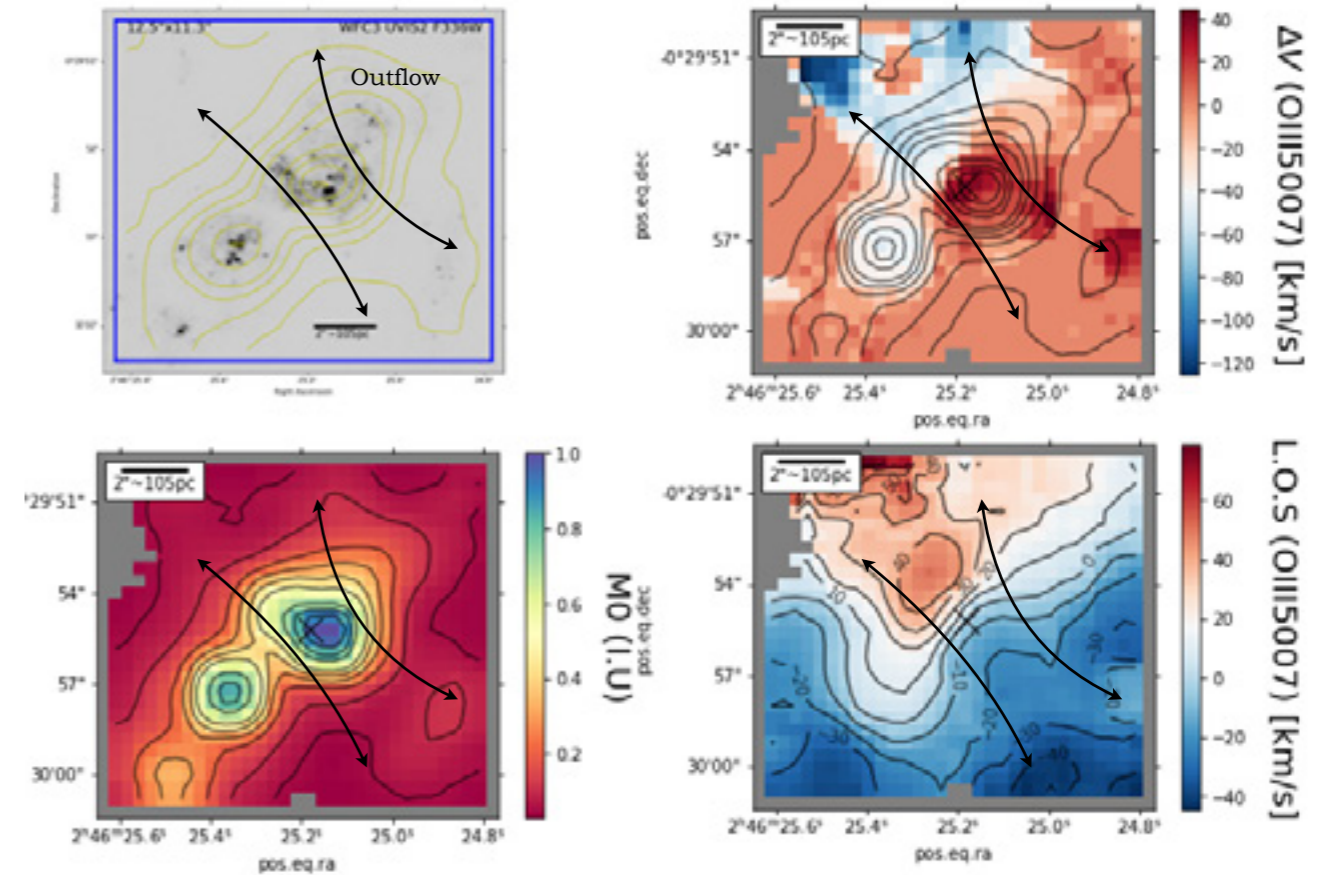
El ejemplo más cercano de una galaxia masiva sin bulbo es nuestra propia Vía Láctea (VL), donde se ha demostrado que la presencia de un bulbo central, si lo hay, representa menos del 8 % de la masa del disco. Los sorprendentes resultados obtenidos recientemente por el telescopio MeerKAT han puesto de manifiesto la variedad e importancia de los procesos de retroalimentación estelar en la evolución de la VL. Sin embargo, para comprender si esta es una característica común de las espirales masivas sin bulbo es indispensable utilizar muestras estadísticas de galaxias similares a la Vía Láctea. El proyecto BEARD (Bulgeless Evolution And the Rise of Disks), seleccionado durante dos años consecutivos por el Programa de Tiempo Internacional (ITP2019, ITP2020), está observando una muestra estadística de galaxias masivas sin bulbo para determinar la incidencia de la retroalimentación estelar en el centro de estas gigantes.

La figura muestra la primera detección de un viento de gas ionizado inducido por la formación estelar en el centro de NGC1087. Este resultado ha sido posible gracias tanto al poder colector del GTC como a la alta resolución espectral del instrumento MEGARA. Las medidas de la velocidad del viento y de la masa de gas impulsada por este permitirán determinar el impacto de la retroalimentación estelar en la evolución futura de esta galaxia. El proyecto BEARD proporcionará la incidencia de vientos debidos a formación estelar en galaxias similares a la Vía Láctea.

The current theory for structure formation in the Universe is based on the Λ Cold Dark Matter (Λ CDM) model. It predicts that the growth of structures happens hierarchically: mergers of smaller units eventually create bigger systems. It seems obvious that such a merging formation scenario will work well for massive elliptical galaxies (with stars moving mainly in random directions). However, the stellar discs of spiral galaxies are fragile systems that may not survive the violent process of a merger. Therefore, the question arises: how are massive bulgeless spirals built? Over the last decade, cosmological hydrodynamical simulations managed to create bulgeless dwarf galaxies using stellar feedback from supernovae. Still, more observational and theoretical evidence is needed to demonstrate whether this solution works for massive bulgeless galaxies.

Our closest example of a massive bulgeless galaxy is our own Milky Way, where it has been proven that the presence of a central bulge, if any, cannot account for more than 8 % of the disc mass. Recently, the stunning results obtained by the MeerKAT telescope have highlighted the variety and importance of stellar feedback processes in the evolution of the Milky Way. However, understanding whether this is a common feature of massive bulgeless spirals can only be achieved using statistical samples of Milky Way-like galaxies. The BEARD (Bulgeless Evolution And the Rise of Disks) project, selected for two consecutive years as an International Time Program (ITP2019, ITP2020), is observing a statistical sample of massive bulgeless galaxies to determine the incidence of stellar feedback at the centres of these giants.

The figure shows the first detection of a star formation-induced outflow at the centre of NGC 1087. This result has been enabled by both the collecting power of the GTC and the high spectral resolution of the MEGARA instrument. The measured outflow velocity and mass loading factor will allow us to determine the impact of stellar feedback on the future evolution of this galaxy. The BEARD project will provide the incidence of central star formation outflows in Milky Way-like galaxies.



Panel superior izquierdo: imagen HST WFC3/F336W de la región central de NGC 1087. El cuadro azul indica el campo de visión observado del MEGARA. Los contornos amarillos corresponden al mapa del continuo estelar obtenido a partir de los datos del MEGARA.

Panel superior derecho: mapa del parámetro de asimetría de la línea [OIII] (ΔV). Los valores negativos (positivos) de este parámetro indican que la mayor parte del flujo de línea se desplaza hacia el azul (hacia el rojo) en relación con su centro.

Panel inferior izquierdo: mapa de intensidad de la línea [OIII].

Panel inferior derecho: mapa de la velocidad en la línea de visión de la línea [OIII] con los contornos de isovelocidad. Los contornos negros en los paneles superior derecho e inferior izquierdo corresponden a los isocontornos de intensidad de la línea [OIII], mientras que la X indica el pico de la emisión del continuo estelar. La representación esquemática de la extensión y dirección del viento de gas ionizado se muestra en todos los paneles mediante flechas negras.

Top-left panel: HST WFC3/F336W image of the central region of NGC 1087. The blue box denotes the observed field view of MEGARA. The yellow contours correspond to the stellar continuum map obtained from the MEGARA data.

Top-right panel: map of the [OIII] line asymmetry parameter (ΔV). Negative (positive) values of this parameter indicate that most of the line flux is blueshifted (redshifted) relative to its centroid.

Bottom left panel: map of the [OIII] intensity.

Bottom-right panel: map of the [OIII] line-of-sight velocity with isovelocity contours. The black contours in both the top-right and bottom-left panels correspond to the [OIII] intensity isocontours, whereas the X indicates the peak of the stellar continuum emission. The schematic representation of the extension and direction of the outflow is shown with black arrows in all panels.

Observaciones y análisis de meteoros de la red AMOS

Meteor observations and analyses by the AMOS network

El seguimiento de la actividad de meteoros por encima de Europa central en Eslovaquia, en las Islas Canarias, en el desierto de Atacama en Chile y en Hawái mediante el sistema All-sky Meteor Orbit System (AMOS), un observatorio de vídeo autónomo para la detección de meteoros y otros eventos transitorios en el cielo, siguió en marcha en 2021. El hardware y el software del AMOS se desarrollaron y construyeron en Modra, en el observatorio astronómico y geofísico de la Universidad Comenius de Bratislava.

Monitoring of meteor activity continued in 2021 above Central Europe in Slovakia, the Canary Islands, the Atacama Desert in Chile and Hawaii by the All-sky Meteor Orbit System (AMOS), an autonomous video observatory for the detection of meteors and other transient events on the sky. The hardware and software of AMOS have been developed and constructed at the Astronomical and Geophysical Observatory at Modra of the Comenius University in Bratislava.



Imagen compuesta de los meteoros de las JEO observados entre el 22 y el 25 de junio de 2019 por la estación AMOS en el Observatorio del Teide (IAC), Islas Canarias.

Composite image of JEO meteors observed between June 22–25, 2019 by the AMOS station on Teide Observatory (IAC), Canary Islands.

Se presentó y demostró en una publicación en Astronomy & Astrophysics la capacidad del sistema actualizado de órbita de meteoros para todo el cielo (AMOS y AMOS-Spec) para medir las intensidades de las líneas de emisión de las abundancias de elementos meteóricos de los meteoros, especialmente de la lluvia de meteoros menores de las Epsilon Ofiúquidas de junio (JEO, por sus siglas en inglés). El programa AMOS-Spec se creó para llevar a cabo observaciones espectroscópicas sistemáticas regulares. Al mismo tiempo, la trayectoria del meteoróide y la órbita preatmosférica se miden de forma

The capability of the updated All-Sky Meteor Orbit System (AMOS and AMOS-Spec) to measure the emission lines intensities of meteoric element abundances of meteors, especially of minor meteor shower of June epsilon Ophiuchids, was introduced and demonstrated in a paper in Astronomy & Astrophysics. The AMOS-Spec programme was created with the intention of carrying out regular systematic spectroscopic observations. At the same time, the meteoroid trajectory and pre-atmospheric orbit are independently measured from data collected by the AMOS camera network. This, together with spectral

independiente a partir de los datos que recoge la red de cámaras AMOS. Esto, junto con información espectral, permite encontrar el vínculo entre el meteoróide y su cuerpo progenitor, tanto desde el punto de vista dinámico como físico. Este informe muestra los resultados de 22 meteoros JEO analizados a partir de sus órbitas y de cuatro casos con espectros de emisión, comparados con otras lluvias de meteoros en cuanto a las intensidades relativas de líneas de emisión de diagnóstico específicas.

information, allows to find the link between the meteoroid and its parent body, from both dynamical and physical considerations. This report shows the results for 22 JEO meteors analysed of their orbits and four cases with emission spectra, compared with other meteor showers in terms of their relative intensities of specific diagnostic emission lines.

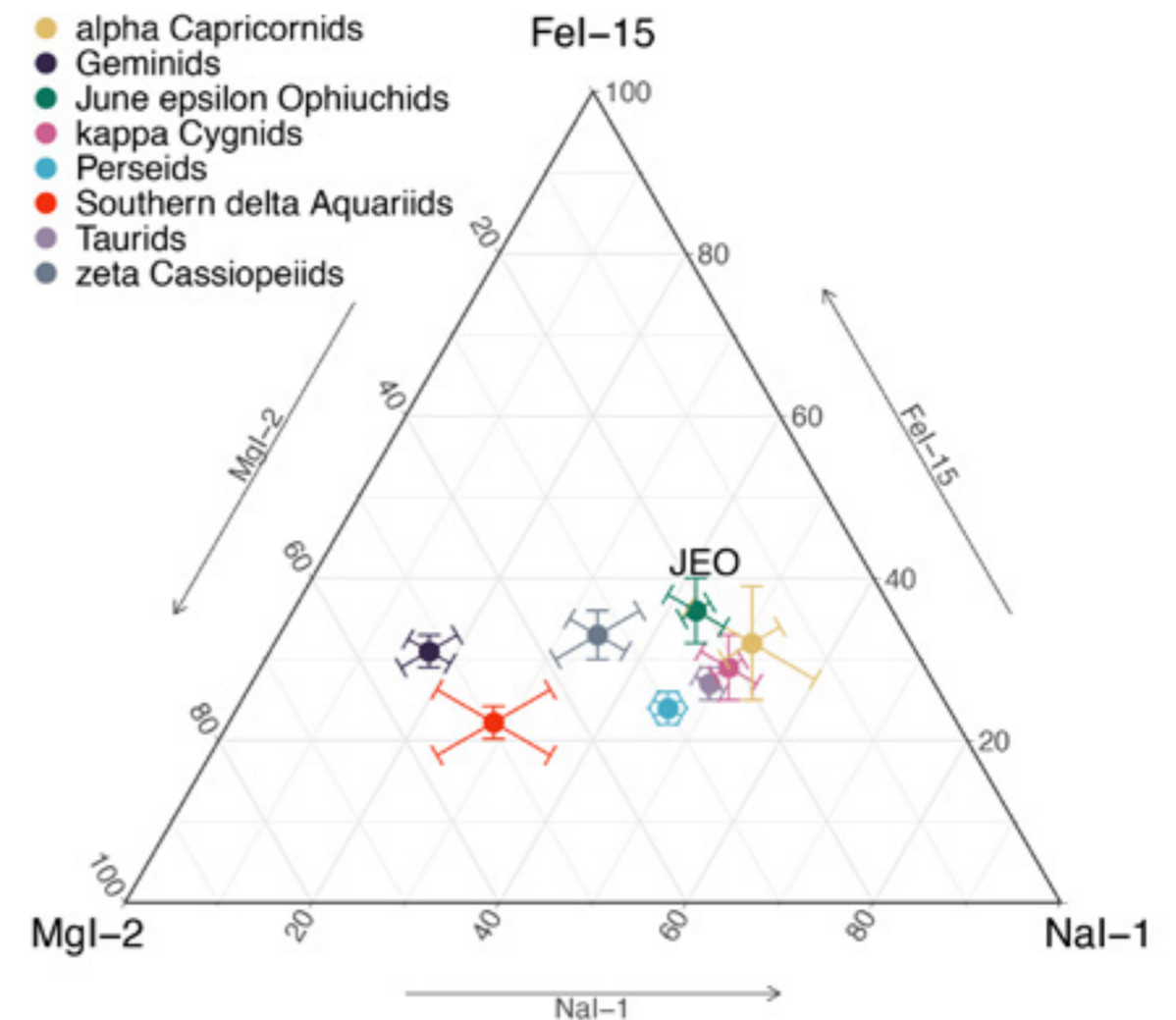


Imagen compuesta de los meteoros de las JEO observados entre el 22 y el 25 de junio de 2019 por la estación AMOS. Clasificación espectral media (ratios de intensidad media $Na I/Mg I/Fe I$ y error estándar de la media) de los meteoroides de las JEO y comparación con otras grandes corrientes de meteoroides.

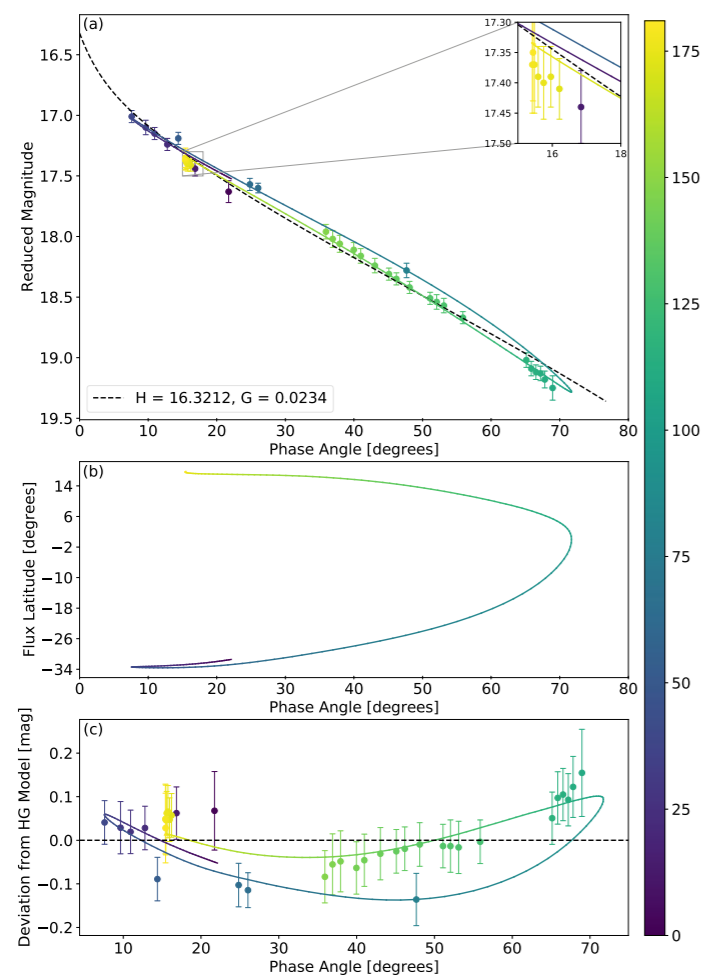
Composite image of JEO meteors observed between June 22–25, 2019 by the AMOS station on Teide Observatory. Mean spectral classification (mean $Na I/Mg I/Fe I$ intensity ratios and standard error of the mean) of JEO meteoroids and comparison to other major meteoroids streams.

Cambio de aspecto de asteroides cercanos a la Tierra

Aspect changes of near-Earth asteroids

El PIRATE Mark 3 observó la reciente aparición del asteroide cercano a la Tierra 159402 (1999 AP10) recopilando 212 horas de datos fotométricos durante 38 noches. A lo largo de esta labor de seguimiento se observaron interesantes desviaciones en la curva de fase del asteroide en torno al modelo óptimo (gráfica, panel a y c). Mediante un modelo de forma del asteroide derivado de estas observaciones, se verificó que las desviaciones en la curva de fase resultan de los efectos de la forma y el aspecto de la vista al simular el brillo sobre la aparición. A medida que el asteroide se desplaza con respecto a la Tierra, cambia la latitud de la que procede la mayor parte del flujo observado (panel b). En el caso de un objeto de forma irregular como el 159402 (1999 AP10), esto provoca cambios en el área de la sección transversal promediada por la rotación que es visible para el observador, dando lugar a las desviaciones en la curva de fase. Este trabajo alimenta un estudio teórico que investiga el efecto global de estas desviaciones de forma en las curvas de fase de los asteroides y cómo pueden afectar a los estudios posteriores de estos asteroides.

PIRATE Mark 3 observed the recent apparition of the near-Earth asteroid 159402 (1999 AP10), collecting 212 hours of photometric data over 38 nights. During this monitoring task, interesting deviations in the asteroid's phase curve around the best-fit model were observed (graph, panels a & c). Using a shape model of the asteroid derived from these observations, it was verified that the deviations in the phase curve arise from the shape and viewing aspect effects by simulating the brightness over the apparition. As the asteroid moves relative to Earth, the latitude from which the majority of the observed flux arises changes (panel b). For an irregularly shaped object such as 159402 (1999 AP10), this causes a changing rotationally averaged cross-sectional area visible by the observer, giving rise to the deviations in the phase curve. This work feeds into a theoretical study investigating the overall effect of these shape deviations in asteroid phase curves and how they may affect further studies of these asteroids.



Curva de fase para (159402) 1999 AP10
(a) Datos de la curva de fase medida para (159402) 1999 AP10, con la curva de fase media óptima (línea de puntos) y la curva de fase simulada basada en el modelo de forma (línea continua).
(b) Latitud del flujo frente al ángulo de fase.
(c) Diferencia entre la curva de fase derivada del modelo de forma y la curva de fase media. El color corresponde a la fecha juliana.
Phase curve for (159402) 1999 AP10
(a) Measured phase curve data for (159402) 1999 AP10, with best-fit average phase curve (dashed) and simulated phase curve based on shape model (solid line).
(b) Flux latitude versus phase angle.
(c) Difference between shape model derived phase curve and average phase curve. The colour corresponds to the Julian Date.

Magnetismo solar: predicción y meteorología espacial

New insights into Solar magnetism and space weather forecast

Se han cumplido 26 años de observaciones ininterumpidas con la instalación telescópica GONG (Global Oscillations Network Group). El GONG es una red de seis telescopios ubicados alrededor del globo terrestre (California, Hawái, Australia, India, España y Chile) capaz de llevar a cabo observaciones globales del Sol las 24 horas del día.

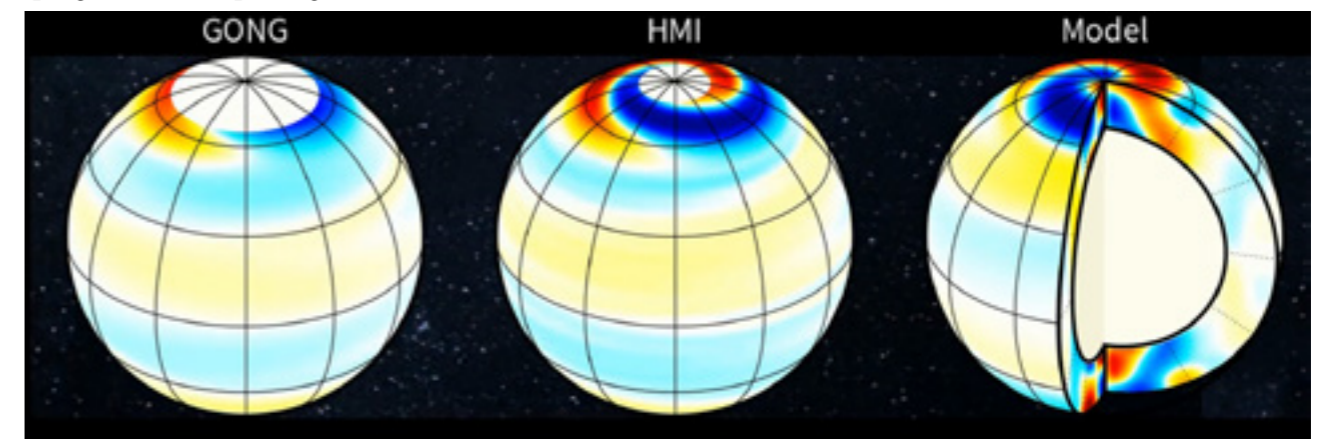
The year 2021 marked the 26th anniversary of uninterrupted operations of the Global Oscillations Network Group (GONG) facilities. GONG is a six-site network, located in California, Hawaii, Australia, India, Spain, and Chile, of automated telescopes circling the world to provide continuous observations of the Sun.

Los datos del GONG, incluidos los procedentes del nodo en el OT, se incluyen en los trabajos de predicción meteorológica espacial del Space Weather Prediction Center (SWPC) del NOAA y en los modelos del Community Coordinated Modeling Center (CCMC) de la NASA. En 2021, las medidas obtenidas por el GONG del campo magnético de la fotosfera se utilizaron de modo intensivo en el modelado de la conexión magnética entre la superficie solar y el enclave donde se encuentra la sonda espacial Parker Solar Probe (PSP) de la NASA en la zona de la heliosfera entre el Sol y la Tierra. Los datos del GONG en el campo de la heliosismología se usan para predecir la emergencia y características de nuevas manchas solares en el hemisferio del Sol no visible desde la Tierra.

GONG data, including those from the node located at the Observatorio del Teide, are now used for operational space weather forecasts by the NOAA's Space Weather Prediction Center (SWPC) and also to drive models hosted by NASA's Community Coordinated Modeling Center (CCMC). During this year, GONG observations of photospheric magnetic fields were extensively used for the modelling of the magnetic connectivity between the Solar surface and the location of NASA's Parker Solar Probe (PSP) in the heliosphere between the Sun and the Earth. GONG helioseismic data were used to predict the emergence of new sunspots on the far side of the Sun, which is invisible from the Earth.

Asimismo, se descubrieron y caracterizaron un nuevo tipo de oscilaciones globales del Sol con características extremadamente estables en el tiempo que proporcionan nueva información sobre el interior solar tal como la intensidad de los movimientos turbulentos y de la propia convección en la base de la zona convectiva. Son estas propiedades las que, básicamente, gobiernan la dinamo solar, el proceso físico que genera el campo magnético del Sol.

Furthermore, a set of Solar oscillations with specific long-duration properties has recently been discovered and characterized (see figure). These provide new insights into the internal properties of the Sun, such as the strength of the turbulent motions and the strength of the convective driving at the base of the convection zone. These properties ultimately govern the Solar dynamo, the physical process that generates the Sun's magnetic field.



El recién descubierto modo de oscilación inercial de alta latitud se ve en la velocidad este-oeste utilizando 10 años de observaciones de GONG (izquierda) y SDO/HMI (centro). El modelo numérico se muestra a la derecha. La figura es un único fotograma de una película que muestra la evolución de estos modos inerciales a lo largo del periodo de 10 años analizado hasta la fecha.

The newly discovered high-latitude inertial oscillation mode is seen in the east-west velocity using 10 years of observations from GONG (left) and SDO/HMI (middle). The numerical model is shown on the right. The figure is a single frame of a movie showing the evolution of these inertial modes along the 10-year period analyzed so far.

Primera observación de gas emergiendo de la estrella central de una nebulosa planetaria

First-ever observation of a jet of gas emerging from the central star of a planetary nebula

Todas las estrellas con una masa inferior a ocho veces la del Sol terminarán su vida como nebulosas planetarias, formadas por una estrella central —el núcleo «pelado» de la estrella tras la expulsión de sus capas exteriores— rodeada de una envoltura fluorescente.

Estas nebulosas pueden presentar formas esféricas, bipolares o de gran complejidad y, aunque todavía se desconoce por qué se desarrolla una forma u otra, los indicios apuntan a la participación de chorros bipolares de material lanzados por la acción de una estrella compañera.

Estos chorros de material, que se forman al final de la vida de la estrella, podrían interactuar con la envoltura expulsada en etapas anteriores y dibujar distintas morfologías.

El primer indicio de un chorro de material en una nebulosa planetaria se produjo cuando se descubrió lo que se bautizó como «flujo bipolar» de alta velocidad en NGC 2392. Y, aunque hasta pudo medirse la velocidad del material, el brillo de la nebulosa (especialmente del cascarón interno) impedía obtener una imagen directa del chorro.

Usando espectroscopía 2D de alta resolución con MEGARA, ha sido posible trazar por primera vez el chorro bipolar de la nebulosa planetaria NGC 2392 hacia su estrella central, demostrando de este modo que el proceso que lo impulsa permanece aún activo.

Según estos resultados, NGC 2392 consiste en dos grandes glóbulos (y algunos nódulos más débiles) que emergen de la estrella central y que se extienden más allá del cascarón externo de la nebulosa.

El chorro en NGC 2392 atraviesa el cascarón brillante interno y, dado que el chorro y el cascarón muestran velocidades similares (unos 206 kilómetros por segundo), todo apunta a que es el chorro quien acelera el gas del cascarón y lo moldea, y no el débil viento estelar de la estrella. Más aún, la tomografía MEGARA 3D del chorro revela que está siendo colimado en estos momentos, al contrario que los chorros fósiles, ya inactivos, detectados en otras nebulosas planetarias evolucionadas

All stars with a mass less than eight times that of the Sun will end their lives as planetary nebulae, formed by a central star—the "bare" core of the star after the expulsion of its outer layers—surrounded by a fluorescent envelope.

These nebulae can have spherical, bipolar or highly complex shapes, and although it is still unknown why one shape or another develops, the indications point to the role of bipolar jets of material launched by the action of a companion star.

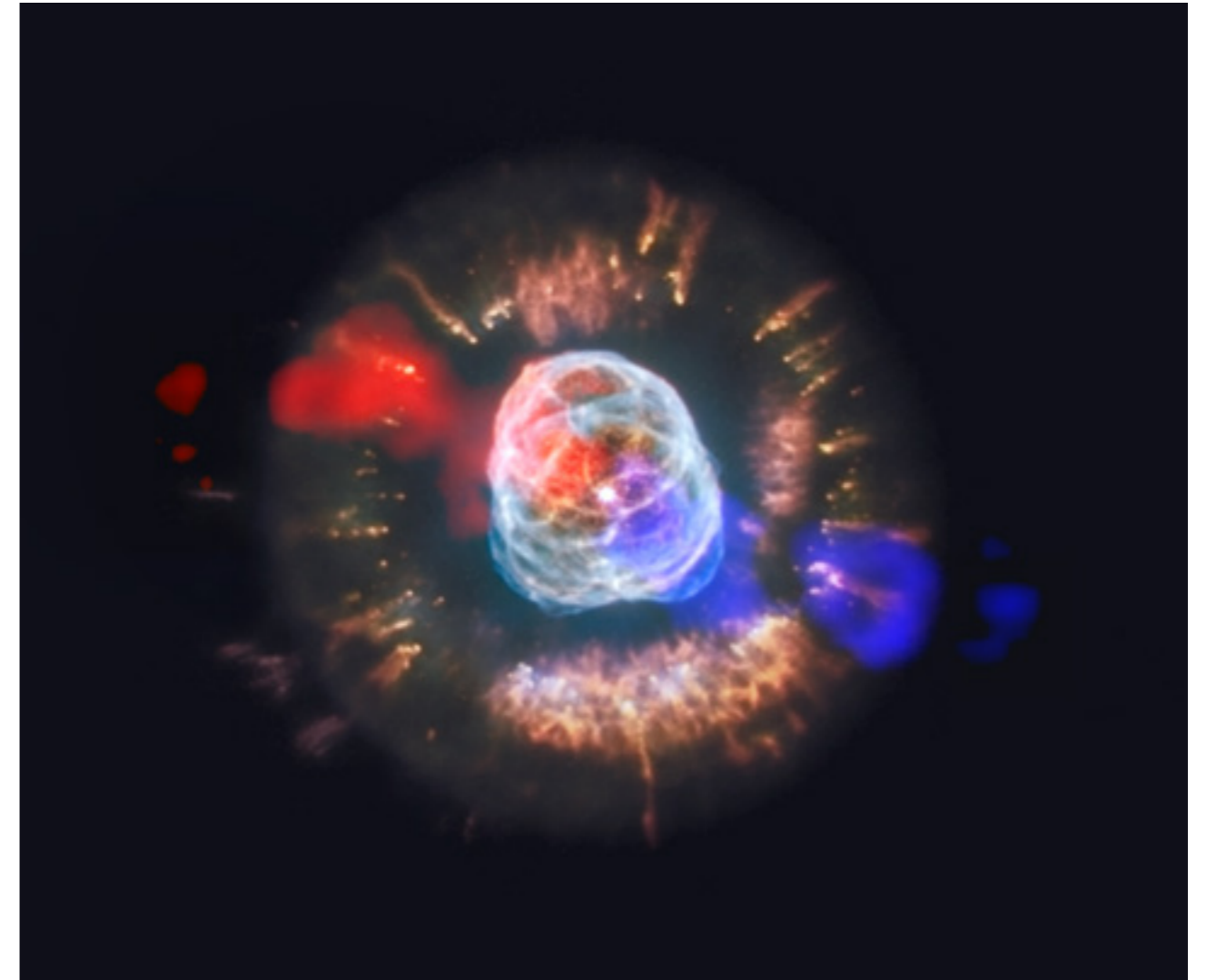
These jets of material, which are formed at the end of the star's life, could interact with the envelope expelled in previous stages and give rise to different morphologies.

A first indication of a jet of material in a planetary nebula was detecting what was called a high-speed "bipolar flow" discovered in NGC 2392. Although the speed of the material could even be measured, the brightness of the nebula (especially of its inner shell) made it impossible to obtain a direct image of the jet.

Using MEGARA high-resolution 2D spectroscopy, the bipolar jet of the planetary nebula NGC 2392 has been traced for the first time to its central star, thus demonstrating that the jet launch process is still active.

NGC 2392 consists of two large globules (and some fainter nodules) emerging from the central star and extending beyond the outer shell of the nebula.

The jet in NGC 2392 passes through the bright inner shell, and since the jet and the shell showed similar speeds (about 206 kilometres per second), everything indicates that it is the jet that accelerates the gas of the shell and shapes it and not the weak stellar wind of the star. Furthermore, the MEGARA 3D tomography of the jet revealed that it is currently being collimated, unlike the fossil jets, already inactive, detected in other evolved planetary nebulae.



Composición en falso color de la emisión nebulosa y del chorro de gas en NGC 2392 usando los filtros F502N, F656N y F658N de la WFPC2 del HST y la imagen en [N II] λ 6584 del chorro de gas obtenida con MEGARA GTC. Los distintos componentes del mismo se representan en azul y en rojo según se acercan o alejan, respectivamente.

Colour-composite picture of the nebular and jet emission of NGC 2392 produced from HST WFPC2 F502N, F656N, and F658N images and a GTC MEGARA [N II] λ 6584 image of its jet. The approaching and receding components of the jet are depicted in blue and red, respectively.

El Hubble y el GTC ayudan a identificar cómo se formaron las primeras galaxias

The Hubble and the GTC help to show how the first galaxies were formed



Comparativa del centro del cúmulo Abell 370 visto por el GTC (izquierda) y por el Hubble (derecha).

Comparison of the centre of the galaxy cluster Abell 370 as seen with the GTC (left) and with the Hubble Space Telescope (right).

Una de las preguntas más interesantes que los astrofísicos llevan décadas intentando responder es cómo y cuándo se formaron las primeras galaxias. En cuanto al cómo, una posibilidad es que la formación de las primeras estrellas dentro de las galaxias comenzara a un ritmo constante, construyendo lentamente un sistema cada vez más masivo. Otra posibilidad es que la formación fuera más violenta y discontinua, con brotes de formación estelar intensos, pero de corta duración, desencadenados por eventos como fusiones de galaxias y acumulaciones de gas amplificadas. Cada escenario está vinculado a diferentes procesos, como las fusiones de galaxias o la influencia de los agujeros negros supermasivos, y tienen un efecto sobre cuándo y cómo se formaron elementos como el carbono o el oxígeno, que son esenciales para nuestra vida.

Para estudiar esto, los investigadores combinaron el poder de lente gravitacional de algunos de los cúmulos de galaxias más masivos del Universo con imágenes profundas del GTC en el marco del proyecto SHARDS (Survey for high-z Red and Dead Sources, por sus siglas en inglés), con el fin de localizar y estudiar algunas de las galaxias más pequeñas y débiles del Universo cercano. El proyecto SHARDS consiste en la toma de imágenes superprofundas del campo observado por Hubble usando OSIRIS en el GTC (hasta 120 horas de observación), empleando 25 filtros de ancho intermedio que, en su conjunto, cubren el rango de longitudes de onda de 500 a 940 nanómetros.

Estas imágenes selectivas permiten analizar cómo se distribuye la emisión luminosa de las galaxias extremadamente débiles en los diferentes colores del rango de la luz visible y, con eso, es posible detectar el gas calentado por las estrellas recién formadas, que emite en longitudes de onda específicas (líneas de emisión).

El principal resultado es que el inicio de la formación de galaxias es irregular, con períodos de formación de estrellas muy violentos seguidos de intervalos donde la galaxia parece dormida. Es poco probable que las fusiones de galaxias hayan jugado un papel sustancial en el desencadenamiento de estos brotes de formación estelar; lo más probable es que se deba a otras causas que aumentaron la acumulación de gas

For the past few decades, one of the most interesting questions for astrophysicists has been how and when the first galaxies formed. One of the possible answers to "how" is that star formation in the first galaxies took place at a steady rate, building up a system with increasing mass. Another possibility is that the formation was more violent and discontinuous, with intense bursts of star formation, on short timescales, triggered by events such as galaxy mergers and strong concentrations of gas. Each of the scenarios is linked to different processes, such as the mergers of galaxies or the influence of supermassive black holes, and affects when and how different elements were formed, such as carbon and oxygen, which are essential for life.

In order to study this, researchers combined the power of gravitational lensing by some of the most massive clusters in the Universe with very deep images from the GTC taken in the SHARDS project (Survey for high-z Red and Dead Sources) with the aim of finding and studying some of the smallest and faintest galaxies in the local Universe. The SHARDS project consists in taking with the OSIRIS at the GTC the very deepest images of the field observed with the Hubble (with up to 120 hours of observation), using 25 intermediate passband filters which together cover the wavelength range from 500 to 940 nanometres.

These selective images allow analysing of how the light of very faint galaxies is distributed in the different colours of the visible wavelength range, detecting the gas heated by newly formed stars, which emit at specific wavelengths (emission lines).

The main result is that the start of galaxy formation is irregular, with very violent periods of star formation followed by periods when a galaxy is dormant. It is unlikely that galaxy mergers played a major role in triggering those bursts of star formation; it is more probable that this was due to other causes which caused the pile-up of gas.

El IAC80 detecta el tránsito del WASP-156b, de solo 0,006 magnitudes de profundidad

The IAC80 detects the transit of WASP-156b at a depth of only 0.006 magnitude

La misión de la Agencia Espacial Europea Ariel busca estudiar las atmósferas de exoplanetas. Para su preparación, se requiere verificar y afinar las efemérides de los tránsitos de los exoplanetas que finalmente serán sus objetivos. Se prevé su lanzamiento en 2029.

La Infraestructura de Investigación (RI) Europlanet 2024, financiada a través del programa Horizonte 2020 de la Comisión Europea, proporciona, entre otras herramientas, la red de telescopios Europlanet EPN-TN, a la que está adherida el telescopio IAC80.

En el marco de este proyecto, el IAC80 se utilizó para medir el tránsito del exoplaneta WASP-156b en la noche del 15 de octubre de 2021. En el momento de la solicitud de tiempo de observación, este exoplaneta llevaba la calificación de «alta prioridad», ya que tan solo se disponía de una única medición de su tránsito.

WASP-156b es un planeta de tipo superneptuno caliente, orbita una estrella de tipo K, con un periodo de 3,84 días. Fue descubierto en 2018. Se caracteriza por su alta temperatura de 970 K y por una densidad similar a la de Júpiter. Su estrella, WASP-156, es en la actualidad la estrella anfitriona de un superneptuno más brillante, con una magnitud en V de 11,6, haciendo de este planeta un objetivo de interés principal para la futura caracterización atmosférica.

Se usaron tiempos de exposición de 40 segundos en filtro I y 60 segundos en filtro R, desenfocando la estrella para evitar saturación y conseguir una adecuada S/N.

Con 119 imágenes en cada filtro, se consiguió determinar los momentos de inicio y final del tránsito, con un O-C (R) = -1,2+/-1,2 min y O-C (I) = -2+/-1,3 min, así como la bajada de magnitud de tan solo 0,006 magnitudes. La reducción de datos se llevó a cabo con el software HOPS, que usan los observadores de Exoclock, especialmente desarrollado para la fotometría de tránsitos de exoplanetas para la misión Ariel. En la web de Exoclock se han publicado ambas curvas de luz.

The European Space Agency's Ariel mission aims to study the atmospheres of exoplanets. Its preparation requires verifying and refining the ephemerides of the transits of the exoplanets that will eventually be its targets. Ariel is expected to be launched in 2029.

The Europlanet 2024 Research Infrastructure (RI), funded through the European Commission's Horizon 2020 program, provides, among other tools, the Europlanet EPN-TN telescope network, of which the IAC80 telescope is a member.

In the framework of this project, the IAC80 was used to measure the transit of the exoplanet WASP-156b on the night of October 15, 2021. At the time of the observing time request, this exoplanet carried a "high priority" rating as only a single measurement of its transit was available.

WASP-156b is a hot super-Neptune-type planet orbiting a K-type star, with a period of 3.84 days. It was discovered in 2018. It is characterized by its hot temperature of 970 K and a density similar to that of Jupiter. Its star, WASP-156, is currently the brightest super-Neptune host star, with a V magnitude of 11.6, making this planet a prime target of interest for future atmospheric characterization.

Exposure times of 40 seconds in the I filter and 60 seconds in the R filter were used, defocusing the star to avoid saturation and achieve adequate S/N.

With 119 images in each filter, the start and end times of the transit were determined, with an O-C (R) = -1.2+/-1.2 min and O-C (I) = -2+/-1.3 min, as well as the magnitude depth of only 0.006 magnitudes. The data reduction was carried out with the HOPS software used by Exoclock observers, specially developed for exoplanet transit photometry for the Ariel mission. Both light curves have been published on the Exoclock website.

Descubrimiento de planetas libres

Discovery of free-floating planets

El Telescopio Isaac Newton (INT) formó parte de una campaña, en la que participaron varios telescopios, para buscar planetas libres, aquellos que no orbitan alrededor de ninguna estrella. El análisis se centró en la región denominada Asociación OB de Escorpio, que contiene una alta concentración de estrellas muy jóvenes (edades entre 1 y 10 millones de años) situadas a tan solo 145 pársecs del Sol, en la constelación de Escorpión.

Identificar planetas que no orbitan a una estrella es como buscar una aguja en un pajar. Los astrónomos compararon imágenes de diversos telescopios, obtenidas a lo largo de 20 años, para medir los movimientos de las estrellas en el plano del cielo y obtener, además, fotometría en varias longitudes de onda. Los movimientos en el plano del cielo aportan información clave para identificar a los miembros de una asociación, ya que todos ellos nacieron de la misma nube molecular y, por lo tanto, tienen la misma velocidad que esta. En contraste, otras estrellas presentan movimientos propios más aleatorios. La fotometría sirve para refinar la selección.

Los astrónomos también combinaron una ingente cantidad de imágenes disponibles en repositorios públicos con datos nuevos obtenidos con los mejores telescopios ópticos e infrarrojos, tanto en tierra como en el espacio. Usando más de 80 000 imágenes de gran campo, que suman unos 100 terabytes, distinguieron entre 70 y 170 planetas del tamaño de Júpiter como posibles miembros de la Asociación Escorpio Superior. Se trata de la mayor cantidad de planetas libres descubiertos en una asociación estelar; casi dobla el total de planetas libres conocidos en toda la Vía Láctea hasta la fecha.

Existen varias hipótesis sobre el origen de los planetas libres. Podrían ser planetas expulsados del sistema estelar donde nacieron debido a procesos dinámicos o podrían haber nacido ya libres por el colapso de una nube de gas. En cualquier caso, el descubrimiento de planetas libres es importante. Si la abundancia encontrada en este estudio es representativa, podría haber miles de millones de planetas del tamaño de Júpiter vagando por la Vía Láctea, desligados de cualquier estrella. El número sería todavía mayor en el caso de planetas de masa telúrica, ya que estos son más comunes que los planetas de tamaños mayores.

The Isaac Newton Telescope (INT) joined a multi-telescope campaign to search for free-floating planets, those that wander through space and do not orbit around a star. The analysis centred on a region named the Scorpius OB Association, which hosts a cluster of very young stars (with ages between 1 and 10 million years) at just 145 parsecs from the Sun towards the constellation Scorpius.

Identifying free-floating planets within a star cluster is a major challenge, like trying to find a needle in a haystack. Astronomers combined images from several telescopes taken over 20 years to measure the motions of stars in the plane of the sky and to measure photometry at several wavelengths. Proper motions are an extremely effective method to identify members of an association since all members were born from the same molecular cloud complex and thus have similar motions to the parent cloud. Unrelated field stars have almost random proper motions. Photometric luminosities and colours are useful to refine the selection.

The vast number of images available in public astronomical archives were combined with new deep wide-field observations obtained with the best infrared and optical telescopes on the ground and in space. Using over 80,000 wide-field images adding up to around 100 terabytes, at least 70 and up to 170 of these Jupiter-sized planets were identified as members of the Upper Scorpius Association among the background stars and galaxies. This is by far the largest sample of free-floating planets in a single association and almost doubles the number of free-floating planets known to date over the entire sky.

Whether free-floating planets were ejected from their parent stellar system or born already free remains a topic of ongoing debate. In either case, the discovery of free-floating planets is important. If the abundance found here is representative, several billion Jupiter-type planets could be roaming the Milky Way without a host star. This number would be even greater for Earth-mass planets since they are known to be more common than massive planets.

Primeros resultados físicos del LST-1 First physics results of the LST-1

Durante su fase de puesta en marcha, el LST-1 ha observado varias fuentes astrofísicas para validar su rendimiento en el rango de baja energía del CTAO y su rápida respuesta a las fuentes transitorias. Estas fuentes incluyen, entre otras, la Nebulosa del Cangrejo y su púlsar, el Centro Galáctico y seis núcleos galácticos activos (AGN) en episodios de destello.

Estos resultados se presentaron en numerosas conferencias internacionales, como la 37.^a Conferencia Internacional sobre Rayos Cósmicos, la Reunión Anual 2021 de la Sociedad Astronómica Europea y la Conferencia Internacional 2021 sobre Temas de Física de Astropartículas y del Subsuelo. Actualmente, la Colaboración LST está preparando publicaciones en revistas especializadas sobre estas observaciones.

Las Colaboración LST usó las observaciones de la Nebulosa del Cangrejo para confirmar que la sensibilidad del telescopio cumple con los requisitos del CTAO y concuerda bien con las mediciones anteriores realizadas por telescopios independientes, como los espectros MAGIC. En la figura se muestra la comparación entre los espectros LST y MAGIC de la Nebulosa del Cangrejo.

En julio de 2021, el LST-1 comenzó a observar un AGN llamado BL Lacertae (BL Lac), provocado por un aumento del brillo óptico reportado por el telescopio Whole Earth Blazar. Los datos de observación se analizaron rápidamente y se descubrió que BL Lac se encontraba destellando con aproximadamente 10 veces más brillo de lo normal. Se envió a toda prisa el primer telegrama del astrónomo de la CTA (ATEL #14783), animando al resto de la comunidad astronómica a realizar observaciones de seguimiento.

Este resultado demuestra claramente la capacidad del LST-1 no solo para realizar una rápida observación de seguimiento de las fuentes transitorias, sino también para producir resultados sólidos y alertar a la comunidad astronómica en poco tiempo.

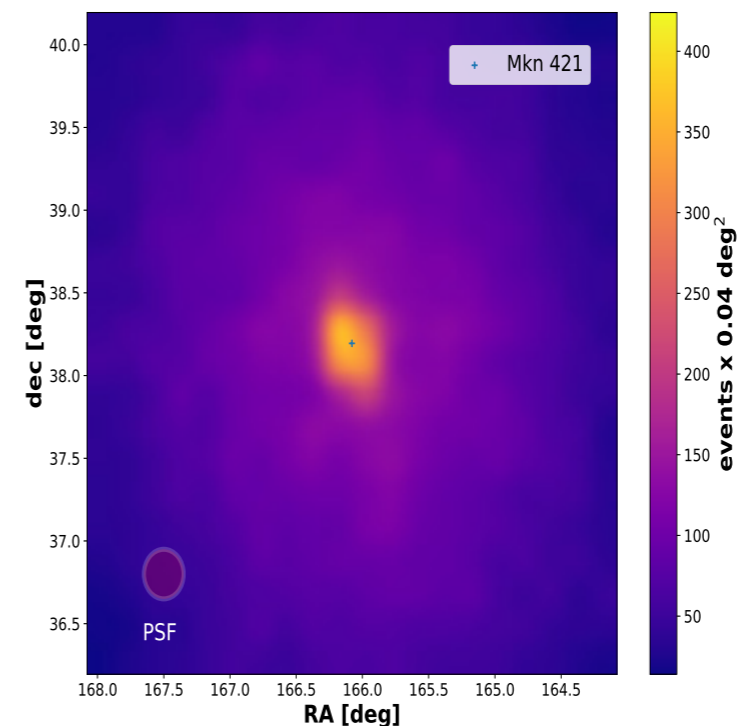
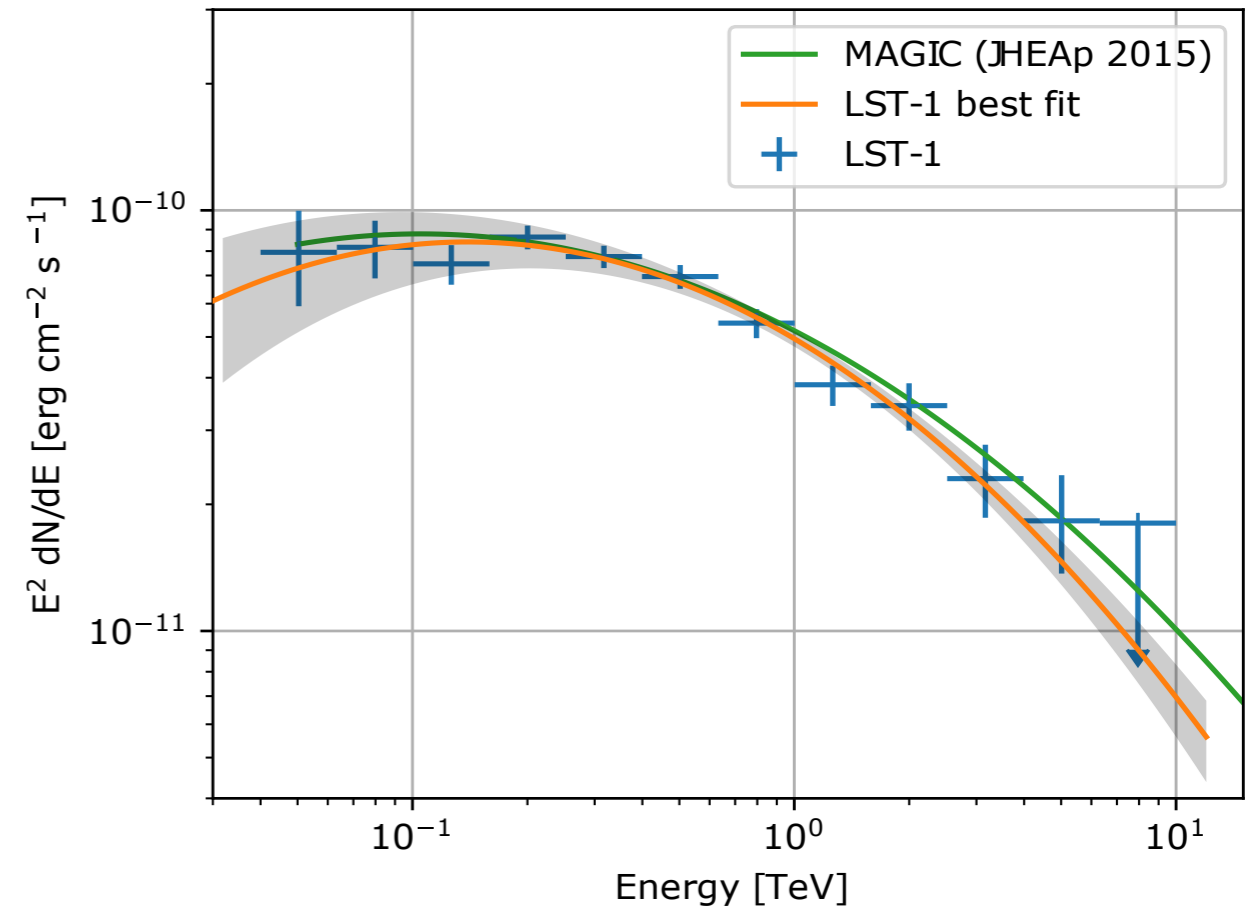
During its commissioning phase, the LST-1 has observed several astrophysical sources in order to validate its performance in the low-energy range of the CTAO and its fast response to transient sources. These sources include, but are not limited to, the Crab Nebula and its pulsar, the Galactic Center, and six Active Galactic Nuclei (AGN) during flaring states.

These results were presented at numerous international conferences such as the 37th International Cosmic Ray Conference, the 2021 Annual Meeting of the European Astronomical Society, and the 2021 International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics. Currently, the LST Collaboration is preparing publications in peer-reviewed journals on these observations.

Observations of the Crab Nebula were used by the LST Collaboration to confirm that the telescope's sensitivity meets the requirements of CTAO and agrees well with previous measurements by independent telescopes such as the MAGIC Telescopes. The comparison between the LST and MAGIC spectra of the Crab Nebula is shown in the figure.

In July 2021, the LST-1 began observations of an AGN called BL Lacertae (BL Lac), which was triggered by an increase in optical brightness reported by the Whole Earth Blazar Telescope. The observational data was quickly analyzed, and it was found that BL Lac was in a flaring state, approximately 10 times brighter than normal. CTA's first Astronomer's Telegram (ATEL #14783) was quickly issued, encouraging follow up observations by the rest of the astronomical community.

This result clearly demonstrates the ability of the LST-1 not only to perform quick follow-up observation of transient sources but also to produce robust results and alert the astronomical community in a short time.



Primeros resultados físicos de las observaciones del LST-1. Arriba: espectro de rayos gamma de la Nebulosa del Cangrejo obtenido con 3,5 horas de observación en el LST-1, realizadas en noviembre de 2020. Se muestra un espectro obtenido con MAGIC para comparar. Abajo: mapa del cielo (número de eventos gamma registrados por unidad de ángulo sólido) de la región alrededor de la galaxia activa Mrk 421, observada en 2020.

Early physics results of LST-1 observations. Top: gamma-ray spectrum of the Crab Nebula obtained with 3.5 hours of observation with LST-1 performed in November 2020. A spectrum obtained with MAGIC is shown for comparison. Bottom: sky map (number of recorded gamma-like events per unit solid angle) of the region around the active galaxy Mrk 421 observed in 2020.

El Telescopio Liverpool desvela un nuevo tipo de explosión cósmica

Liverpool Telescope unveils a new type of cosmic explosion



Imagen del telescopio espacial Hubble de la estrella WR 124, rodeada de cúmulos calientes de su propia atmósfera exterior expulsados al espacio por los feroces vientos estelares de los últimos diez mil años. Esta estrella es similar a las que crearon las supernovas SN 2021csp y SN 2019hgp mencionadas en el texto.

Hubble Space Telescope image of the star WR 124, surrounded by hot clumps of its own outer atmosphere ejected into space by fierce stellar winds over the last ten thousand years. This star is similar to those which created the supernovae SN 2021csp and SN 2019hgp mentioned in the text.

Al final de su vida, las estrellas más masivas pierden sus capas exteriores de hidrógeno para convertirse en estrellas Wolf-Rayet: estrellas muy calientes y luminosas que arrojan rápidamente material al espacio mediante ráfagas de viento de alta velocidad. Algunos modelos predicen que tales estrellas deberían acabar colapsando para formar agujeros negros, pero hasta ahora no se han encontrado pruebas observacionales.

Los datos del Telescopio Liverpool (LT) y de otras instalaciones de todo el mundo han identificado una nueva clase de supernova, denominada de tipo «Icn», que podría revelar esta transición.

El primer evento de este tipo (conocido como SN 2019hgp) fue descubierto en 2019 por el Zwicky Transient Facility (ZTF). El LT obtuvo imágenes de observaciones de seguimiento un día después del descubrimiento, lo que proporcionó una visión crucial de las primeras fases de la explosión. El espectro de la supernova estaba dominado por líneas estrechas de carbono, oxígeno y neón altamente excitados: una combinación nunca vista antes en ningún transitorio cósmico.

El segundo evento (conocido como SN 2021csp) lo descubrió también el ZTF en febrero de 2021. El LT fue la primera instalación, de nuevo, en obtener resultados tras el descubrimiento. Esta vez fueron observaciones que mostraban una supernova rápida y luminosa con líneas de carbono y oxígeno fuertes y estrechas.

Juntos, estos dos acontecimientos sugieren un nuevo escenario para el destino de las estrellas más masivas: pueden producir un tipo especial de supernova rápida y fugaz dominada por la interacción entre una pequeña cantidad de material expulsado hacia el exterior al principio del colapso y el viento estelar Wolf-Rayet preexistente.

At the ends of their lives, the most massive stars lose their outer hydrogen layers to become Wolf-Rayet stars: very hot and luminous stars that rapidly shed material into space in high-velocity winds. Some models predict that such stars should eventually collapse to form black holes, but observational evidence has been lacking so far.

Data from the Liverpool Telescope (LT) and other facilities worldwide have identified a new class of supernova - dubbed type "Icn"—that may reveal this transition.

The first such event (known as SN 2019hgp) was discovered in 2019 by the Zwicky Transient Facility (ZTF). The LT obtained follow-up imaging observations within a day of discovery, giving crucial insight into the early phases of the explosion. The spectrum of the supernova was dominated by narrow lines of highly-excited carbon, oxygen, and neon: a combination never seen before in any cosmic transient.

The second event (known as SN 2021csp) was discovered in February 2021, also by the ZTF. The LT was the first facility on the scene after discovery, again acquiring observations that showed a fast and luminous supernova with strong, narrow carbon and oxygen lines.

Together, these two events suggest a new scenario for the fates of the most massive stars: they may produce a special kind of fast and fleeting supernova dominated by the interaction between a small amount of material ejected outward early in the collapse and the pre-existing Wolf-Rayet stellar wind.

Una visión «MAGIC-A» de erupciones terrestres y celestes

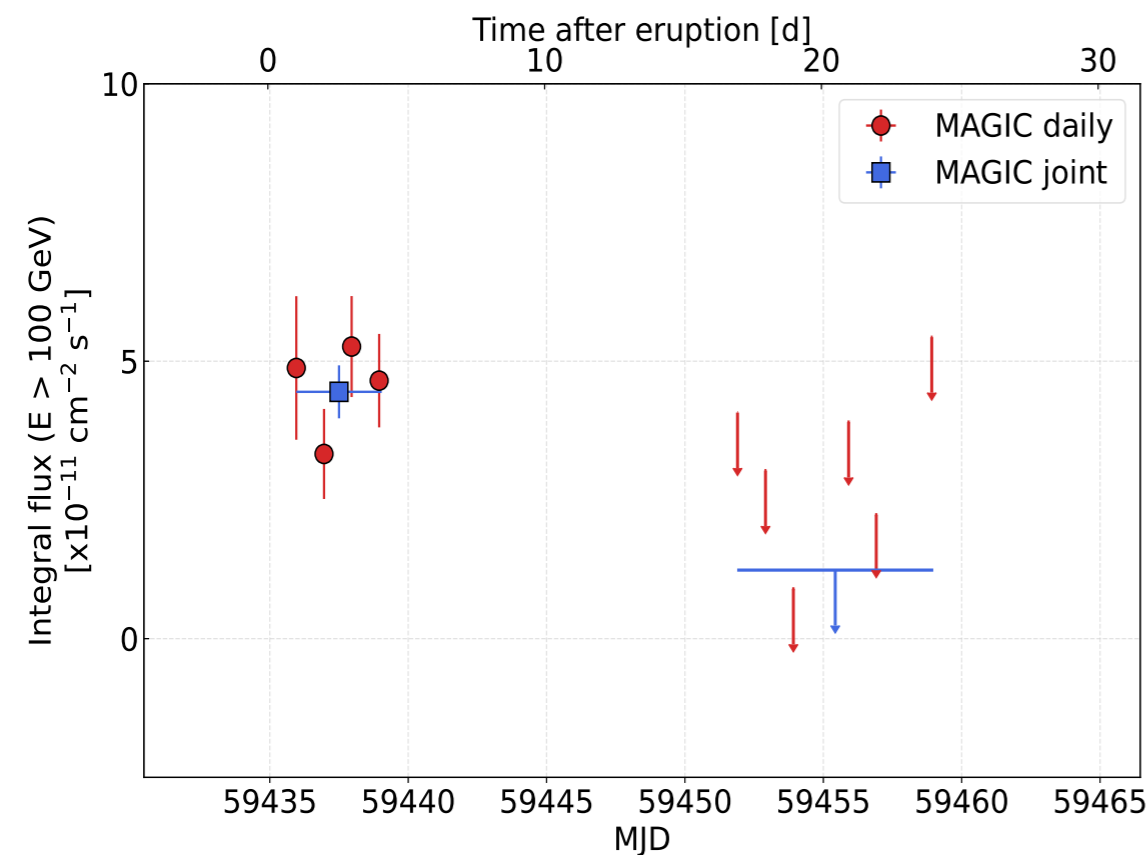
A MAGIC view of terrestrial and celestial eruptions

Para la colaboración MAGIC, el comienzo del año 2021 estuvo marcado por haber superado con éxito los retos que implica operar un complejo sistema de telescopios en una colaboración multinacional durante la pandemia de COVID-19. Las operaciones de MAGIC han vuelto a tener básicamente la misma eficacia científica que en los años anteriores a la pandemia gracias a un régimen de higiene riguroso y un comportamiento prudente.

Como para todos los demás habitantes y huéspedes de la isla de La Palma, la erupción volcánica de Cumbre Vieja, que comenzó el 19 de septiembre y se prolongó durante casi tres meses, también fue para MAGIC un duro recordatorio de las poderosas fuerzas que siguen dando forma a este lugar tan especial de la Tierra. Aunque durante la fase activa de la erupción hubo que renunciar a las observaciones astronómicas durante varias semanas por cuestiones logísticas y por la posibilidad de deposición de cenizas, una vez más prevaleció la sólida comunidad que opera

For the MAGIC collaboration, the beginning of the year 2021 was marked by successfully navigating the challenges imposed by operating a complex telescope system in a multinational collaboration during the ongoing Covid-19 pandemic. MAGIC operations could return to basically the same scientific efficiency as in pre-pandemic years through a rigorous hygiene regime and prudent behaviour.

Like all other inhabitants and guests on the island of La Palma, also for MAGIC, the volcanic eruption at the Cumbre Vieja that began on September 19 and continued for nearly three months was a stark reminder of the powerful forces that continue to shape this very special place on Earth. Although during the active phase of the eruption, astronomical observations had to be ceded for several weeks due to logistics and the possibility of ash deposition, again, the strong community that operates the telescopes prevailed, and after the end of the major eruptive



Observaciones MAGIC de la nova RS Ophiuchi 2021, separadas por días (rojo) y agrupadas en varios días (azul).
MAGIC observations of the nova RS Ophiuchi 2021, binned daily (red) and joint over several days (blue).

los telescopios y, tras el fin de la actividad eruptiva principal, los telescopios pudieron volver intactos al servicio activo.

Desde el punto de vista científico, para la colaboración MAGIC, el año estuvo, sin duda, dominado por un tipo de erupción totalmente diferente: el 8 de agosto, el sistema de telescopios MAGIC detectó el estallido de 2021 de la nova recurrente RS Ophiuchi.

En los sistemas progenitores de las novae, la transferencia de masa tiene lugar desde la capa exterior extendida de una estrella gigante roja envejecida hacia una densa enana blanca compañera, un remanente estelar en el que ya han cesado las reacciones de fusión nuclear que alimentan a la mayoría de las estrellas.

En algunos de estos sistemas, el hidrógeno que se acumula a través de la transferencia en la superficie de la enana blanca alcanza, al cabo de un tiempo, un estado de presión y temperatura tan elevado que se desencadena una explosión de fusión nuclear que expulsa las capas de material a velocidades de varios miles de kilómetros por segundo. Esta explosión puede ser cientos de miles de veces más brillante que una estrella normal y aparecer rápidamente en los cartografiados del cielo, de ahí el término nova, abreviatura de stella nova (estrella nueva). Curiosamente, en algunos de estos sistemas se producen estallidos de novae con cierta regularidad.

En el caso de la RS Ophiuchi, el tiempo de recurrencia a lo largo de la historia ha rondado los 15 años. Como la última explosión se produjo en 2006, los telescopios MAGIC y muchos otros observatorios de todo el mundo y del espacio esperaban atentamente en 2021.

El exclusivo conjunto de datos de múltiples longitudes de onda con el que se vio recompensada esta campaña de gran éxito permitirá estudiar ahora el papel que desempeñan estas explosiones en el origen de los rayos cósmicos, partículas altamente energéticas que inciden en la atmósfera terrestre desde el espacio exterior.

activity, the telescopes could return to active duty in an undamaged state.

Scientifically, the year for the MAGIC collaboration was surely dominated by an altogether different type of eruption: on August 8, the MAGIC telescope system detected the 2021 outburst of the recurring nova RS Ophiuchi.

In the progenitor systems of novae, mass transfer takes place from the extended outer layer of an ageing red giant star to a dense companion white dwarf, a stellar remnant in which the nuclear fusion reactions that power most stars have already ceased.

In some such systems, the hydrogen that is accumulated via the transfer on the surface of the white dwarf after a time reaches a state of such high pressure and temperature that a nuclear fusion explosion is triggered, and the layers of material are thus expelled at speeds of several thousand kilometres per second. This explosion can be hundreds of thousands of times brighter than a normal star and rapidly appear in sky surveys—thus the term nova, short for stella nova (new star). Intriguingly, some of these systems undergo nova outbursts with some regularity.

For RS Ophiuchi, the recurrence time historically has been close to 15 years. With the last explosion having happened in 2006, the MAGIC telescopes and many other observatories around the globe and in space were watchfully waiting in 2021.

With the unique multi-wavelength dataset that was the reward of this highly successful campaign, it will now be possible to study the role that such explosions can play in the origin of the cosmic rays—highly energetic particles that impinge on the atmosphere of the Earth from outer space.

Telescopio Mercator: ciencia en 2021

Mercator Telescope: science in 2021

Dada su naturaleza de telescopio pequeño pero moderno, equipado con instrumentos de vanguardia, el Mercator se usa sobre todo para astrofísica solar. Uno de los temas centrales y generales de la investigación de Mercator es el impacto de la binariedad en la evolución estelar. Muchos objetos o sistemas peculiares solo pueden entenderse en el marco de los canales de evolución binarios. Los procesos de interacción binaria sobre los que se sabe muy poco son más la regla que la excepción. Es esencial una mejor comprensión para acotar la evolución estelar y la evolución química del Universo. Ese es uno de los principales temas de investigación del Mercator.

Como potenciales progenitores de varios fenómenos exóticos, incluidas fuentes de ondas gravitacionales, estrellas magnéticas y estrellas Be, los sistemas binarios masivos cercanos exploran un área crucial del espacio de parámetros en la evolución de las estrellas masivas. A pesar de la importancia de estos sistemas, siguen existiendo grandes incertidumbres sobre la naturaleza y la eficacia de los mecanismos de mezcla interna. Se ha estudiado exhaustivamente una muestra de tres binarias masivas con diferentes metalicidades. A partir de los datos espectroscópicos resueltos en fase óptica, se ha realizado un análisis de la atmósfera utilizando las técnicas 1D más tradicionales y las técnicas 3D más recientes. Un resultado sólido ha sido que, en los tres objetos, ambos componentes de un sistema son muy sobreluminosos, lo que indica una mezcla interna eficiente de helio o una transferencia de masa no conservadora previa. No se encontraron pruebas fehacientes de cambios en las abundancias superficiales de helio o de CNO. Estas últimas suelen estar asociadas a la mezcla. Además, en los sistemas de masa desigual, la temperatura efectiva y la luminosidad medidas de la componente menos masiva la sitúan muy cerca de la componente más masiva en el diagrama de Hertzsprung-Russell. Las discrepancias observadas entre las mediciones de la temperatura y la abundancia superficial, cuando se comparan con las expectativas teóricas, indican que pueden estar en juego mecanismos físicos adicionales que no se han tenido en cuenta hasta ahora.

Fue posible realizar un análisis completo combinando mediciones astrométricas en el VLTI del ESO con un seguimiento espectroscópico de alta resolución. El desentrañamiento espectral de 9 Sgr respalda la presencia de un primario de 53 masas solares y un secundario de 39 masas solares, lo que se corresponde magníficamente con sus tipos espectrales observados. Este análisis aclara la contradicción entre las estimaciones de masa e inclinación orbital indicadas en estudios anteriores. La presencia de una cantidad significativa de material procesado por el CNO en la

Given its nature as a modern but small telescope equipped with state-of-the-art instruments, Mercator is mainly used for stellar astrophysics. One of the central overarching themes in the Mercator research is the impact of binarity on the evolution of stars. Many peculiar objects or systems can only be understood in the framework of binary evolution channels. Poorly understood binary interaction processes are more the rule than the exception. A better understanding is essential to constrain stellar evolution and the chemical evolution of the Universe. This is one of the main research themes on Mercator.

As potential progenitors of several exotic phenomena, including gravitational wave sources, magnetic stars, and Be stars, close massive binary systems probe a crucial area of the parameter space in massive star evolution. Despite the importance of these systems, large uncertainties regarding the nature and efficiency of the internal mixing mechanisms still exist. A sample of three massive binaries at different metallicities was studied extensively. Using optical phase-resolved spectroscopic data, an atmosphere analysis using more traditional 1D techniques and the most recent 3D techniques was performed. A robust result is that in all three objects, both components of a system are highly overluminous, indicating either efficient internal mixing of helium or previous non-conservative mass transfer. No strong evidence was found for changes in helium or CNO surface abundances. The latter are usually associated with mixing. Additionally, in unequal-mass systems, the measured effective temperature and luminosity of the less massive component place it very close to the more massive component on the Hertzsprung-Russell diagram. The observed discrepancies between the temperature and the surface abundance measurements, when compared to theoretical expectations, indicate that additional physical mechanisms may be at play that have not been accounted for so far.

A full analysis was possible by combining astrometric measurements on the VLTI at ESO with high-resolution spectroscopic monitoring. Grid spectral disentangling of 9 Sgr supports the presence of a 53 Solar mass primary and a 39 Solar mass secondary, which is in excellent agreement with their observed spectral types. This analysis clears up the contradiction between mass and orbital inclination estimates reported in previous studies. The presence of significant CNO-processed material at the surface of the primary suggests that enhanced internal mixing was active. The present measurements provide a high-quality high-mass anchor to validate stellar evolution models and to test the efficiency of internal mixing processes.

superficie de la primaria sugiere que la mezcla interna mejorada estaba activa. Las presentes mediciones proporcionan una base sólida para validar los modelos de evolución estelar basados en la masa elevada y para probar la eficiencia de los procesos de mezcla interna.

Otro tema en la explotación de Mercator es la combinación de espectroscopia de alta resolución y fotometría espacial para investigar la estructura de los interiores estelares. La modelización astrosísmica de la estructura interna de las estrellas de la secuencia principal nacidas con un núcleo convectivo se ha basado hasta ahora en análisis homogéneos de curvas de luz fotométricas espaciales de Kepler de cuatro años de duración a los que se añadía información espectroscópica incompleta y heterogénea para romper las degeneraciones. Se analizaron espectroscópicamente 111 de estas enanas, cuyas curvas de luz Kepler permitieron determinar sus tasas de rotación cercanas al núcleo. Esto ofrece datos observacionales adicionales para modelar también las capas de la envoltura de estas enanas sin pulsaciones radiales. Los parámetros estelares espectroscópicos y las determinaciones de abundancia permiten la futura modelización espectroscópica, astrométrica (Gaia) y astrosísmica de esta muestra heredada de estrellas con modos gravitatorios de pulsación para así mejorar nuestra comprensión de los procesos de transporte en la fase de quema de hidrógeno del núcleo de la evolución estelar.

Los resultados de Gaia, sumados al seguimiento espectroscópico de alta resolución, han demostrado ser una combinación potente. De las estrellas S ricas en tecnecio se obtuvieron parámetros estelares precisos mediante una herramienta iterativa que combina los espectros de alta resolución del HERMES, paralajes precisos de Gaia EDR3, modelos de evolución estelar y atmósferas modelo adaptadas para las estrellas de tipo S. Las abundancias de elementos pesados se obtuvieron a partir de estos parámetros estelares mediante síntesis espectral. En el diagrama HR, las estrellas S intrínsecas se sitúan en luminosidades más altas que el inicio previsto del tercer dragado. Estos resultados son congruentes con que las estrellas S ricas en Tc sean auténticas estrellas TP-AGB. La comparación de los perfiles de abundancia derivados del proceso s de nuestras estrellas S intrínsecas con las predicciones de nucleosíntesis proporciona una buena coincidencia general. Las estrellas con los valores más altos de [s/Fe] tienden a tener los ratios de C/O más altas.

En resumen, a pesar del difícil año de la pandemia, la producción científica del telescopio Mercator sigue siendo elevada. El impacto del estallido del volcán está todavía por determinar.

Another main theme in the exploitation of Mercator is the combination of high-resolution spectroscopy and space-borne photometry to investigate the structure of stellar interiors. Asteroseismic modelling of the internal structure of main-sequence stars born with a convective core has so far been based on homogeneous analyses of space photometric Kepler light curves of four years in duration, to which most often incomplete inhomogeneously deduced spectroscopic information was added to break degeneracies. In a large effort, 111 such dwarfs, whose Kepler light curves allowed for the determination of their near-core rotation rates, were analysed spectroscopically. This offers additional observational input to also model the envelope layers of these non-radially pulsating dwarfs. The spectroscopic stellar parameters and abundance determinations allow for the future joint spectroscopic, astrometric (Gaia), and asteroseismic modelling of this legacy sample of gravity-mode pulsators, with the aim of improving our understanding of transport processes in the core-hydrogen burning phase of stellar evolution.

The Gaia results added to high-resolution spectroscopic follow-up prove to be a powerful combination. Technetium-rich S-stars derived accurate stellar parameters using an iterative tool that combines HERMES high-resolution spectra, accurate Gaia EDR3 parallaxes, stellar evolution models, and tailored model atmospheres for S-type stars. Using these stellar parameters, heavy-element abundances were derived using spectral synthesis. In the HR diagram, the intrinsic S stars are located at higher luminosities than the predicted onset of the third dredge-up. These findings are consistent with Tc-rich S stars being genuine TP-AGB stars. The comparison of the derived s-process abundance profiles of our intrinsic S stars with the nucleosynthesis predictions provides an overall good agreement. Stars with the highest [s/Fe] values tend to have the highest C/O ratios.

In a nutshell, despite the difficult pandemic year, the scientific output of the Mercator telescope remains high. The impact of the volcano outburst is yet to be determined.

QUIJOTE – Resultados científicos

QUIJOTE – Scientific results

QUIJOTE es un proyecto dedicado a la caracterización de la polarización del fondo cósmico de microondas en grandes escalas y en frecuencias entre 10 y 40 GHz.

El instrumento multifrecuencia (MFI) realizó observaciones hasta 2018, obteniendo mapas de todo el hemisferio norte en el rango de 10 a 20 GHz. Se trata de los primeros mapas existentes en estas frecuencias, y complementan las observaciones desde el espacio (WMAP, Planck ó LiteBIRD en el futuro) a frecuencias por encima de 20 GHz. Este aspecto convierte estos datos en una herramienta fundamental para mejorar nuestro conocimiento de las propiedades de la polarización de la emisión sincrotrón originada en el campo magnético de nuestra Galaxia, y que se manifiesta con mayor intensidad en el rango de frecuencias cubierto por QUIJOTE.

Combinando QUIJOTE-MFI con datos a más alta frecuencia de los satélites WMAP y Planck, se obtuvieron los mapas de la polarización de la emisión sincrotrón que se muestran en la figura. Estos mapas revelan nítidamente emisión polarizada en varias escalas angulares: en fuentes compactas (principalmente remanentes de supernova) y distribuida en grandes escalas, de manera más clara a lo largo del plano de la Galaxia, pero también fuera de él. Esta emisión es consecuencia del movimiento coherente de electrones con velocidades relativistas en el campo magnético de nuestra Galaxia, y tiene un índice espectral promedio de $-3,1$, con una dispersión de valores a lo largo del mapa mucho mayor de la esperada por los modelos actuales.

La información extraída de estos mapas es esencial para poder separar la emisión sincrotrón de la señal cosmológica conocida como «modos B» en la polarización del fondo cósmico de microondas, que debería haber sido generada por el fondo de ondas gravitacionales generado en los primeros instantes del Universo durante un proceso conocido como «inflación».

QUIJOTE is a project aimed at characterising the polarisation of the cosmic microwave background at large angular scales and frequencies between 10 and 40 GHz.

The Multi-Frequency Instrument (MFI) carried out observations until 2018, leading to maps of the full northern sky at frequencies in the range of 10 to 20 GHz. These are the first-ever maps at these frequencies and complement the observations above 20 GHz performed by space missions like WMAP and Planck in the past, or to be performed by LiteBIRD in the next decade. This is a key aspect of these data, as they are fundamental to improving our knowledge of the properties of the synchrotron emission originated in the magnetic field of our Galaxy, which shows up more clearly (with higher amplitude) in the frequency range covered by QUIJOTE.

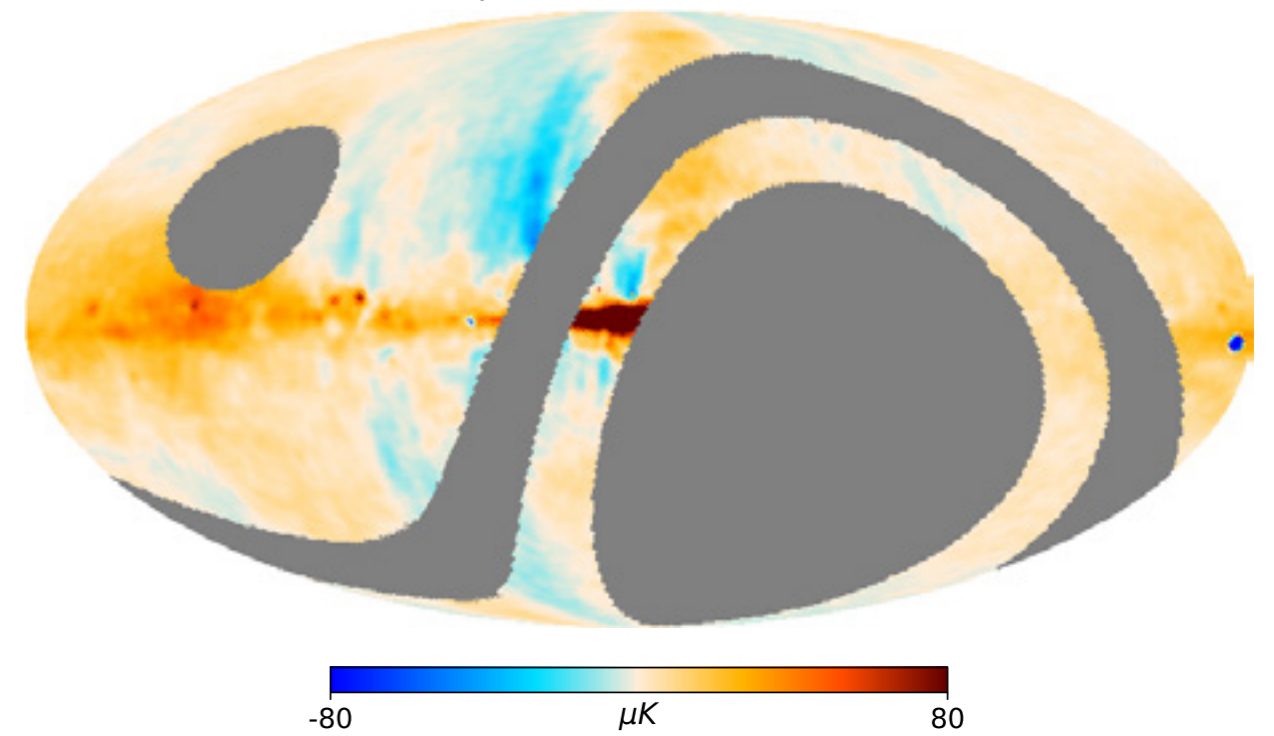
The maps depicted in the figure show the amplitude of the polarised synchrotron emission in the full Northern sky and were obtained through the combination of QUIJOTE-MFI data with higher-frequency data from WMAP and Planck. These maps clearly reveal polarised emission on various angular scales: in compact sources (mainly supernova remnants), but also at large angular scales, in particular along the Galactic plane but also at high Galactic latitudes. This emission stems from the coherent movement of electrons with relativistic speeds within our Galaxy's magnetic field. It is characterised by an average spectral index of -3.1 , although with a scatter across the map that is much larger than expected from current models.

The information extracted from these maps is crucial to disentangle the synchrotron emission from the cosmological signal in the cosmic microwave background known as “B modes”, which should be the imprint of the gravitational wave background generated during the first instants of the Universe in a process coined as inflation.

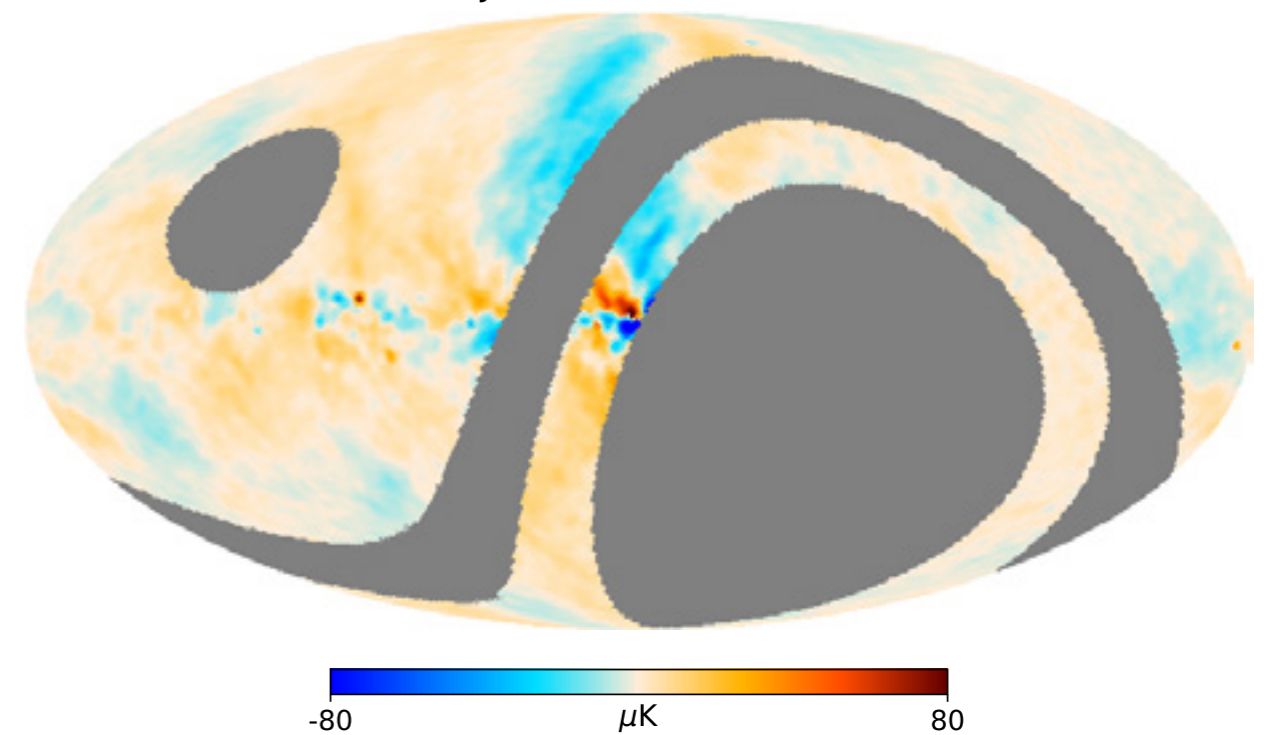
Mapas de la polarización (parámetro de Stokes Q arriba y parámetro de Stokes U debajo) de la emisión sincrotrón del hemisferio norte ecuatorial (los mapas utilizan una proyección en coordenadas galácticas), en una frecuencia de referencia de 30 GHz, obtenidos combinando datos del experimento QUIJOTE-MFI con datos de las misiones espaciales WMAP y Planck.

Maps showing the polarisation (Stokes Q parameter on the top, and Stokes U parameter on the bottom) of the synchrotron emission in the full Northern hemisphere (the maps use a projection in Galactic coordinates) at a reference frequency of 30 GHz, obtained through the combination of data from the QUIJOTE-MFI Instrument and from the WMAP and Planck missions.

Q QUIJOTE-MFI+WMAP+Planck



U QUIJOTE-MFI+WMAP+Planck



SPECULOOS sigue buscando exoplanetas terrestres

SPECULOOS continues its hunt for terrestrial exoplanets

Artemis, el primer telescopio terrestre del Observatorio Norte SPECULOOS, ubicado en el Observatorio del Teide, se unió a una red de telescopios robóticos de 1 metro dentro del proyecto SPECULOOS (Search for habitable Planets Eclipsing ULtra-cOOl Stars - Búsqueda de planetas habitables que eclipsan estrellas ultrafrías) en junio de 2019.

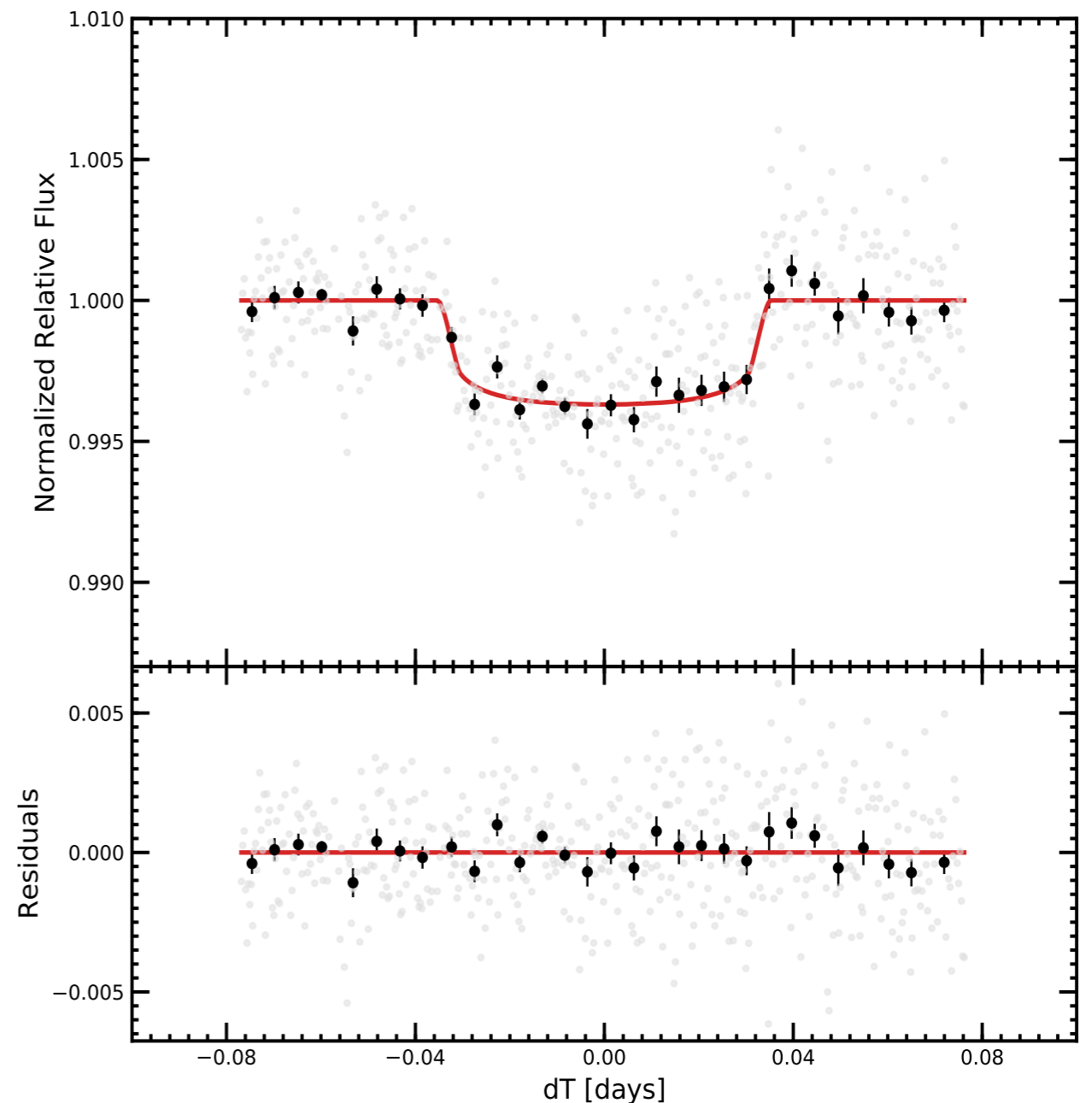
Artemis es el resultado de una colaboración entre el Instituto Tecnológico de Massachusetts, la Universidad de Lieja y el Instituto de Astrofísica de Canarias. Ha permitido a los investigadores ampliar al hemisferio norte su búsqueda de exoplanetas habitables en tránsito alrededor de las estrellas más frías y pequeñas. Desde la inauguración y hasta finales de 2021, el telescopio observó durante 720 noches con un mínimo de paradas técnicas, proporcionando datos de excelente calidad.

Aunque la mayor parte de su tiempo se dedica a la observación de objetivos del catálogo SPECULOOS, Artemis realiza también observaciones de seguimiento de otros exoplanetas notables, incluidos los del Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS). La imagen muestra un ejemplo de esta clase de observaciones; en ella se ve una curva de luz en tránsito de un exoplaneta de tipo subneptuno que orbita alrededor de una enana media-M, TOI-2136 (magnitud TESS 11,7), obtenida con el telescopio Artemis en el filtro Sloan-z'.

Artemis, the first ground-based telescope of the SPECULOOS Northern Observatory, located at the Observatorio del Teide, joined a network of 1-meter-class robotic telescopes as part of the SPECULOOS project (Search for habitable Planets Eclipsing ULtra-cOOl Stars) in June 2019.

Artemis is the result of a collaboration between the Massachusetts Institute of Technology, the University of Liège, and the Instituto de Astrofísica de Canarias. Artemis has enabled researchers to extend their hunt for transiting habitable exoplanets around the coolest and smallest stars to the Northern hemisphere. Since the inauguration and until the end of 2021, the telescope observed for 720 nights with minimum technical downtime, providing excellent quality data.

While most of its time is dedicated to observing targets from the SPECULOOS catalogue, Artemis also does follow-up observations of other noteworthy exoplanets, including those from the Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS). The figure shows an example of such observations, where a transiting light curve of a sub-Neptune exoplanet orbiting a mid-M dwarf, TOI-2136 (TESS magnitude 11.7), obtained with the Artemis telescope in the Sloan-z' filter, is presented.



Arriba: curva de luz en tránsito de TOI-2136b ($T_{mag} = 11,7$) obtenida con el telescopio Artemis en el filtro Sloan-z'. Los puntos grises representan exposiciones individuales, los puntos negros representan mediciones agrupadas de 7,2 minutos. Las observaciones están plegadas en fase y no tienen tendencia. La línea sólida representa el modelo óptimo. Abajo: residuos óptimos.

Top: Transiting light curve of TOI-2136b ($T_{mag} = 11.7$) as obtained with the Artemis telescope in the Sloan-z' filter. Grey points represent individual exposures, and black points represent 7.2-min binned measurements. The observations are phase-folded and not de-trended. The solid line represents the best-fit model. Bottom: best-fit residuals.

Tránsitos superficiales de exoplanetas con la fotometría del STELLA

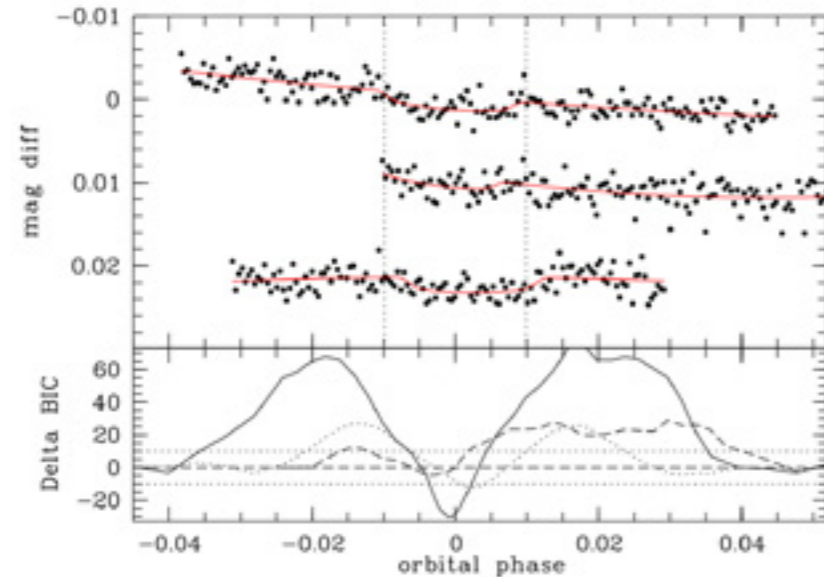
Shallow exoplanet transits with STELLA photometry

Aunque la señal de tránsito de un objeto del tamaño de Júpiter puede detectarse normalmente con un gran nivel de confianza con aperturas de telescopio pequeñas, las leves atenuaciones del tránsito de planetas del tamaño de Neptuno o más pequeños son más difíciles de revelar. El telescopio STELLA y su instrumento WiFSIP obtuvieron nuevos datos de observación para ilustrar las capacidades de seguimiento fotométrico de los telescopios de un metro para los tránsitos superficiales de exoplanetas.

Las profundidades de tránsito de los seis objetivos, Kepler-94b, Kepler-63b, K2-100b, K2-138b, K2-138c y K2-138e, oscilan entre 3,9 ppt y 0,3 ppt. El tránsito extremadamente superficial de K2-138c, con una profundidad de tránsito de 0,6 ppt, no se detectó ni siquiera tras la coadyuvancia de cinco tránsitos. Este fue el primer seguimiento fotométrico desde la Tierra para cinco de estos objetivos. La conclusión fue que el STELLA puede detectar en una única serie temporal tránsitos con profundidades de 1,3 ppt o más.

While the transit signal of a Jupiter-sized object can typically be detected to a high level of confidence with small telescope apertures, the shallow transit dips of planets the size of Neptune and smaller are more challenging to reveal. STELLA and its WiFSIP instrument obtained new observational data to illustrate the photometric follow-up capabilities of meter-sized telescopes for shallow exoplanet transits.

The transit depths of the six targets, Kepler-94b, Kepler-63b, K2-100b, K2-138b, K2-138c, and K2-138e, range from 3.9 ppt down to 0.3 ppt. The extremely shallow transit of K2-138c with a 0.6 ppt transit depth was not detected even after the coaddition of five transits. For five of these targets, it was the first-ever ground-based photometric follow-up. The conclusion was that STELLA can detect a transit in a single time series that shows depths of 1.3 ppt or deeper.



Fotometría del STELLA-WiFSIP de Kepler-94b (panel superior, puntos). La profundidad de tránsito es de 1,8 ppt. Los modelos de tránsito óptimos están sobretrazados como líneas continuas. Los tiempos previstos del primer y cuarto contacto están marcados con líneas punteadas verticales. Panel inferior: diferencia en el criterio de información bayesiano (BIC) del modelo óptimo, incluido el tránsito, en el que la forma es fija, y un modelo sin el tránsito. Los valores de las tres curvas de luz, de arriba a abajo, se presentan como líneas continuas, discontinuas y punteadas.

STELLA-WiFSIP photometry of Kepler-94b (top panel, dots). Transit depth is 1.8 ppt. The best-fit transit models are overplotted as solid lines. The predicted times of first and fourth contact are marked with vertical dotted lines. Lower panel: difference in the Bayesian information criterion (BIC) of the best-fit model, including the transit, in which the shape is fixed and a model without the transit. Values for the three light curves from top-down are given as solid, dashed, and dotted lines.

Un agujero negro estelar en Monoceros

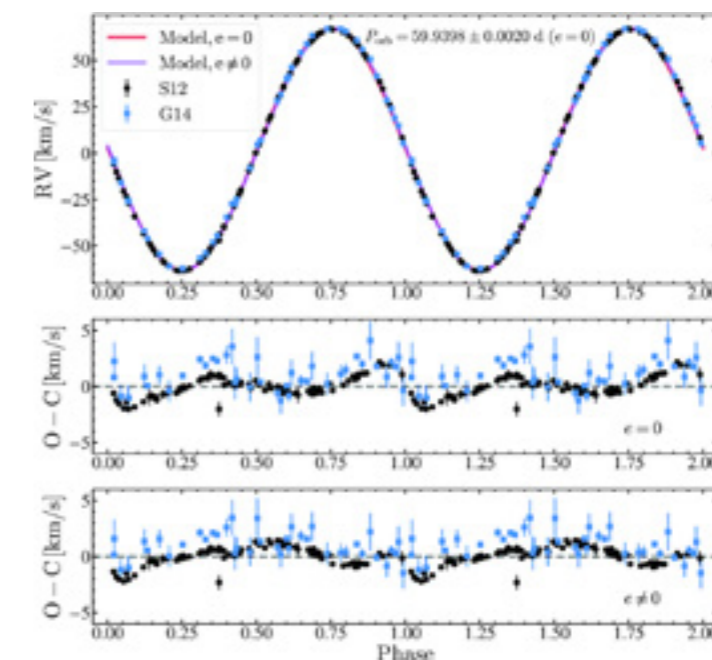
A stellar black hole in Monoceros

El STELLA anunció el descubrimiento del candidato a agujero negro más cercano como compañero binario de V723 Mon. V723 Mon es una gigante roja cercana en una función de masa elevada y una órbita binaria casi circular ($P(\text{orb}) = 59,9$ d), pero sin rastro de una compañera. La elevada función de masa, la distribución de energía espectral y la ausencia de eclipses en el continuo implican que la masa de la compañera debe ser unas 3 $M(\text{sol})$, es decir, tres veces más masiva que la gigante roja.

Se observan eclipses de las líneas de Balmer cuando la compañera oscura pasa por detrás de la gigante, lo que sugiere que la compañera masiva es un único objeto compacto, muy probablemente un agujero negro en el «hueco de masa». El STELLA y el SES recopilieron las velocidades radiales (RV) de V723 Mon durante cuatro años con un error de RV medio interno de aprox. 0,19 km/s. Junto con datos bibliográficos, estos datos permitieron obtener una órbita muy precisa de V723 Mon que se explica mejor con la presencia de un agujero negro estelar de $3,04 \pm 0,06 M(\text{sol})$.

STELLA announced the discovery of the closest black hole candidate as a binary companion to V723 Mon. V723 Mon is a nearby red giant in a high mass function and nearly circular binary orbit ($P(\text{orb}) = 59.9$ d) but without a trace of a companion. The high mass function, the spectral energy distribution, and the absence of continuum eclipses imply that the companion mass must be about 3 $M(\text{sun})$, thus three times more massive than the red giant.

Eclipses of the Balmer lines when the dark companion passes behind the giant are seen, suggesting that the massive companion is a single compact object, most likely a black hole in the “mass gap”. STELLA and SES collected radial velocities (RV) of V723 Mon for four years with an internal median RV error of around 0.19 km/s. Combined with literature data, these data enabled a very precise orbit of V723 Mon that can be best explained by a stellar black hole of $3.04 \pm 0.06 M(\text{sun})$.



Velocidades radiales (RV) de V723 Mon en función de la fase orbital (panel superior). Las RV del STELLA-SES se muestran como puntos negros, y las RV de Griffin (2014) se muestran como cuadrados azules. Los ajustes conjuntos de RV se muestran como líneas rojas (moradas). Los dos modelos se superponen casi por completo y son difíciles de distinguir. Panel inferior: Las RV residuales del ajuste circular a los datos combinados. Los residuos sistemáticos del STELLA de 0,52 km/s son el resultado de la variabilidad elipsoidal de la estrella secundaria.

Radial velocities (RV) for V723 Mon as a function of orbital phase (top panel). The RVs from STELLA-SES are shown as black dots, and the RVs from Griffin (2014) are shown as blue squares. The joint RV fits are shown as red (purple) lines. The two models closely overlap and are hard to distinguish. Lower panel: The RV residuals from the circular fit to the combined data. The systematic STELLA residuals of 0.52 km/s are a result of the ellipsoidal variability of the secondary star.

Piscis VII/Triangulum III: una nueva galaxia enana del Grupo Local

Pisces VII/Triangulum III: a new dwarf galaxy of the Local Group

Hay una nueva entrada en la creciente lista de galaxias pertenecientes al Grupo Local (LG) de galaxias, el sistema que incluye a nuestra Vía Láctea. Bautizada como Piscis VII/Triangulum III, esta nueva fuente extensa fue descubierta en septiembre de 2020 por el astrónomo aficionado Giuseppe Donatiello mediante la inspección visual de imágenes de archivo de los cartografiados DESI Legacy Imaging Surveys (DESI LIS) y se confirmó posteriormente mediante observaciones de seguimiento con el Telescopio Nazionale Galileo (TNG) italiano.

Con un tamaño angular de alrededor de 1 arcmin, Piscis VII se encuentra a una distancia proyectada de unos 70 kpc de la galaxia Messier 33 (M33), el tercer miembro más grande del LG. El análisis del diagrama color-magnitud generado a partir de la fotometría del TNG permitió estimar su distancia, aproximadamente 1,0 Mpc, y su luminosidad. La distancia, el tamaño lineal y las propiedades fotométricas sugieren que podría ser o bien una galaxia aislada del LG o el segundo satélite conocido de M33. En el primer caso, Piscis VII sería la galaxia enana con el campo más débil descubierta hasta la fecha. En el segundo caso, sería más intrigante, ya que M33 es un claro ejemplo de lo que se conoce como el problema de los satélites faltantes. Según las simulaciones basadas en los modelos cosmológicos, una galaxia tan masiva debería tener varios satélites, como la Gran Nube de Magallanes. Hasta la fecha, solo se ha encontrado un candidato potencial para M33. Tal vez Piscis VII pueda decirnos dónde buscar a los demás, resolviendo así el problema.

There is a new entry in the growing list of galaxies belonging to the Local Group (LG) of galaxies, the system including our Milky Way. Named Piscis VII/Triangulum III, this new extended source was discovered in September 2020 by the amateur astronomer Giuseppe Donatiello by visual inspection of archival images of the DESI Legacy Imaging Surveys (DESI LIS) and subsequently confirmed by follow-up observations using the Italian Telescopio Nazionale Galileo (TNG).

With an angular size of about 1 arcmin, Piscis VII is located at a projected distance of about 70 kpc from the Messier 33 (M33) galaxy, the third-largest LG member. The analysis of the colour-magnitude diagram built from the TNG photometry allowed to estimate its distance, about 1.0 Mpc, and luminosity. The distance, linear size and photometric properties suggest that it could be either an isolated galaxy of the LG or the second known satellite of M33. In the former case, Piscis VII would be the faintest field dwarf galaxy discovered to date. The latter case will be more intriguing since M33 represents a clear example of what is known as the missing satellites problem. According to simulations based on the cosmological models, such a massive galaxy should have several satellites, like the Large Magellanic Cloud. So far, only one potential candidate has been found for M33. Maybe Piscis VII can tell us where to search for the others, solving the problem.

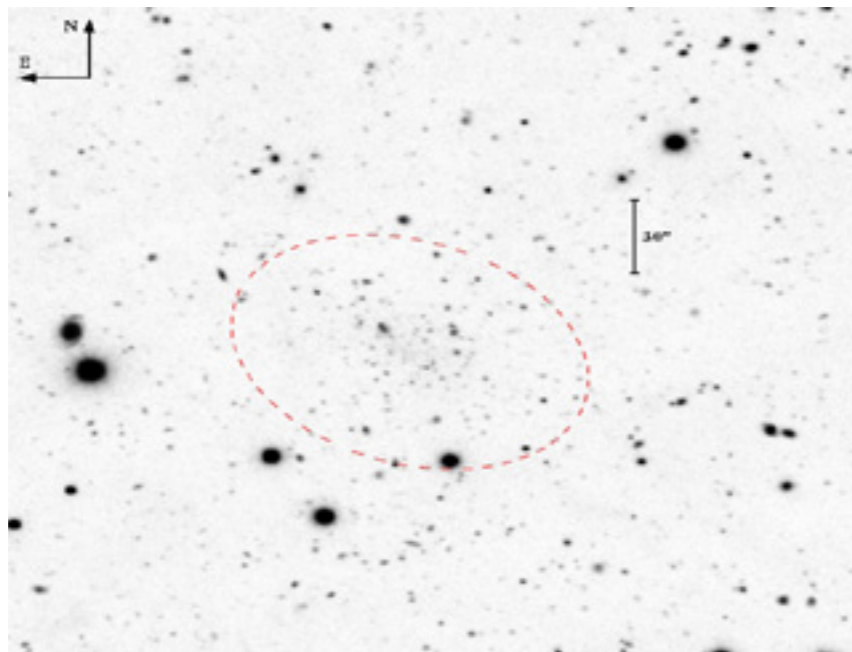


Imagen invertida de la banda g', obtenida con DOLoRes, en el TNG, de la recién descubierta galaxia enana ultratenua Piscis VII/Triangulum III.

Inverted g'-band image obtained with DOLoRes on the TNG of the newly discovered ultra-faint dwarf galaxy Piscis VII/Triangulum III.

Una galaxia superfina observada con el telescopio William Herschel

A superthin galaxy observed with the William Herschel Telescope

Las galaxias superfinas tienen los discos estelares más delgados entre las galaxias de disco y no tienen un bulbo discernible. Las que se encuentran por casualidad, orientadas de canto desde nuestra perspectiva, presentan una morfología llamativa, que parece extremadamente alargada en el cielo.

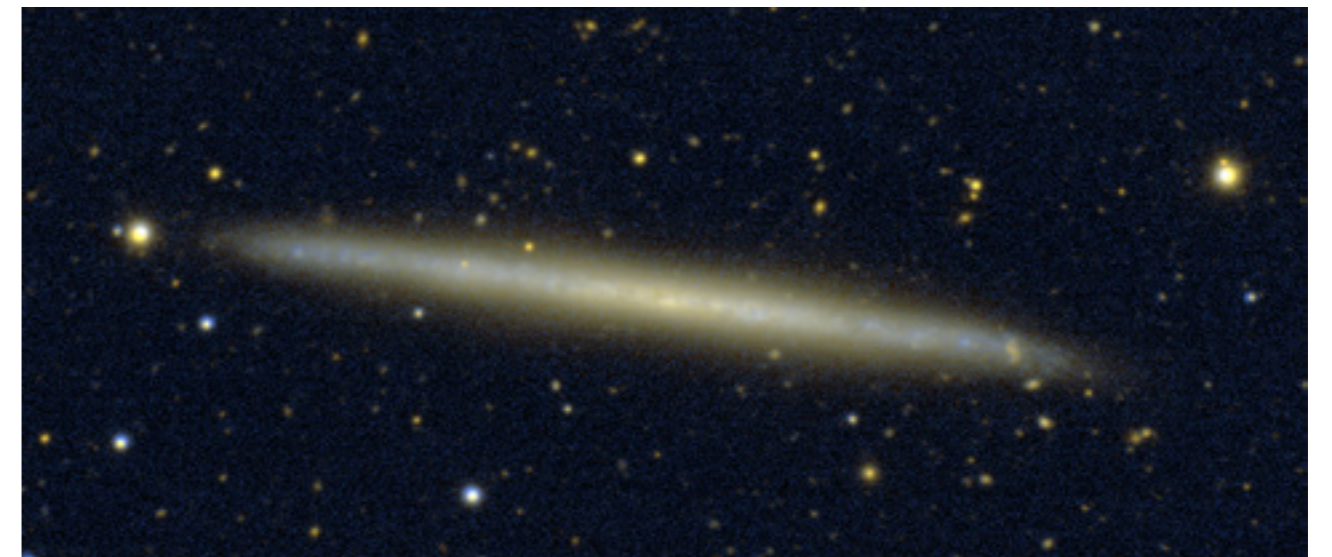
La existencia de galaxias superfinas se considera un reto para las teorías de formación galáctica en el contexto del modelo de evolución jerárquica Λ -CDM. Las múltiples fusiones menores que se supone que se han producido en estas galaxias superfinas deberían haber calentado su delgado disco y haber dejado crecer el bulbo. De hecho, la presencia de deformaciones de gas atómico y componentes difusos de disco grueso podría indicar que muchas galaxias superfinas han sufrido fusiones menores, pero eso no ha provocado el calentamiento esperado de su fino disco. Estos argumentos opuestos hacen que la naturaleza de las galaxias superfinas sea difícil de explicar.

Para desvelar cómo estas galaxias pueden alcanzar esta extraña morfología, en junio de 2021 se observó la UGC 7321, uno de los ejemplos prototípicos de galaxias «superfinas», con el telescopio William Herschel de 4,2 m de La Palma, utilizando el instrumento PF-QHY. La imagen mostrada se compone de observaciones de 2 h + 2 h en las bandas u y r. La ausencia de rasgos observada sugiere que la galaxia no ha interactuado con ninguna otra galaxia ni ha acrecentado ningún satélite. Esto podría explicar cómo su frágil morfología ha permanecido intacta hasta hoy.

Superthin galaxies have the thinnest stellar disks among disk galaxies and do not have a discernible bulge. Those that by chance are found, oriented edge-on from our perspective, present a striking morphology, appearing extremely elongated on the sky.

The existence of superthin galaxies is considered a challenge to galactic formation theories in the context of the Λ -CDM hierarchical evolution model. The multiple minor mergers expected to have occurred to such superthin galaxies should have heated their thin disk and let the bulge grow. Indeed, the presence of HI warps and diffuse thick disk components could indicate that many superthin galaxies have undergone minor mergers, but this has not led to the expected heating of the thin disk. These opposing arguments make the nature of superthin galaxies difficult to explain.

In order to reveal how these galaxies can achieve this strange morphology, observations of UGC 7321, one of the prototypical examples of “superthin” galaxies, were carried out in June 2021 with the 4.2 William Herschel Telescope in La Palma, using the PF-QHY instrument. The image shown is composed of 2 h + 2 h observations in the u and r bands. The observed complete absence of features suggests that the galaxy has not interacted with any other galaxy or accreted any satellites. This could explain how its fragile morphology has remained intact until the present.



UGC 7321, ejemplo prototípico de galaxia superfina

UGC 7321, a prototypical example of a superthin galaxy

Descubrimiento de pulsaciones en la estrella PG1159 rica en nitrógeno PG 1144+005

Discovery of pulsations in the nitrogen-rich PG1159 star PG 1144+005

Hasta el 98 % de todas las estrellas individuales acabarán convirtiéndose en enanas blancas, estrellas que aúnan la historia y la evolución futura de la galaxia y cuya evolución anterior está grabada en su interior. Estos interiores pueden estudiarse mediante la astrosismología, utilizando las pulsaciones estelares como ondas sísmicas.

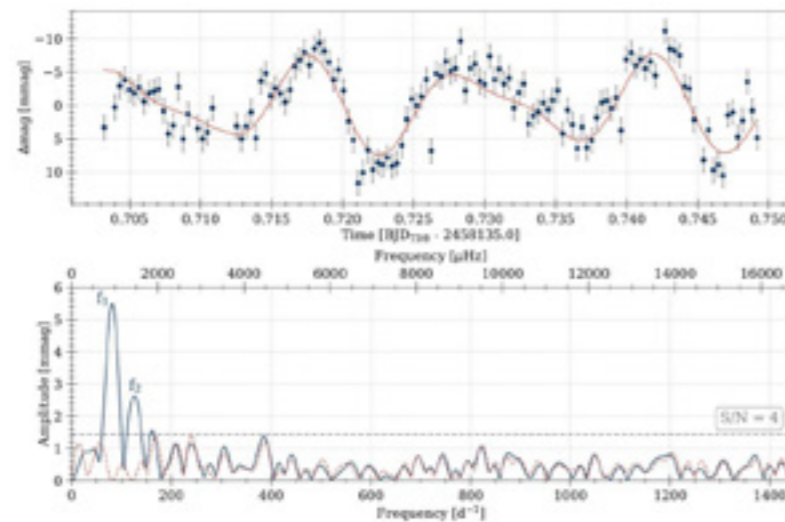
Las franjas de inestabilidad pulsacional de las estrellas enanas blancas DA y DB son puras, lo que permite la importante generalización de que su estructura interior representa la de todas las enanas blancas DA y DB. Este no es el caso de las enanas blancas pulsantes más calientes, las estrellas GW Vir: solo alrededor del 50 % de las enanas blancas de este tipo pulsan. Se han propuesto varias explicaciones para la impureza de la franja de inestabilidad de GW Vir basadas en diferentes abundancias elementales, metalicidad y contenido de helio. Sorprendentemente, existe la dicotomía de que solo pulsan las estrellas ricas en nitrógeno, que por sí mismas no pueden causar impulsos de pulsación, siendo la única excepción conocida hasta ahora la no pulsante PG 1144+005, rica en nitrógeno.

Nuevas observaciones con el GTC sirvieron para descubrir pulsaciones en PG 1144+005, confirmando así la dicotomía del nitrógeno. Como el nitrógeno es un elemento traza que revela la aparición previa de un pulso térmico muy tardío (VLTP) en estrellas enanas blancas calientes, se especula que es este VLTP el que proporciona la estructura interior necesaria para hacer una pulsante GW Vir.

Up to 98 % of all single stars will eventually become white dwarfs - stars that link the history and future evolution of the Galaxy and whose previous evolution is engraved in their interior. Those interiors can be studied using asteroseismology, utilising stellar pulsations as seismic waves.

The pulsational instability strips of DA and DB white dwarf stars are pure, allowing for the important generalisation that their interior structure represents that of all DA and DB white dwarfs. This is not the case for the hottest pulsating white dwarfs, the GW Vir stars: only about 50 % of white dwarfs in this domain pulsate. Several explanations for the impurity of the GW Vir instability strip have been proposed based on different elemental abundances, metallicity, and helium content. Surprisingly, there is a dichotomy that only stars rich in nitrogen, which by itself cannot cause pulsation driving, pulsate—the only previously known exception being the nitrogen-rich non-pulsator PG 1144+005.

New observations with the GTC were used to discover pulsations in PG 1144+005, therefore confirming the nitrogen dichotomy. As nitrogen is a trace element revealing the previous occurrence of a very late thermal pulse (VLTP) in hot white dwarf stars, we speculate that it is this VLTP that provides the interior structure required to make a GW Vir pulsator.



Curva de luz GTC de PG1144+005 (arriba) y su espectro de amplitud de Fourier mostrando los períodos de pulsación detectados (abajo).

GTC light curve of PG1144+005 (top) and its Fourier amplitude spectrum showing the detected pulsation periods (bottom).

Detección de TiO y Na en la atmósfera del Júpiter caliente HAT-P-65b

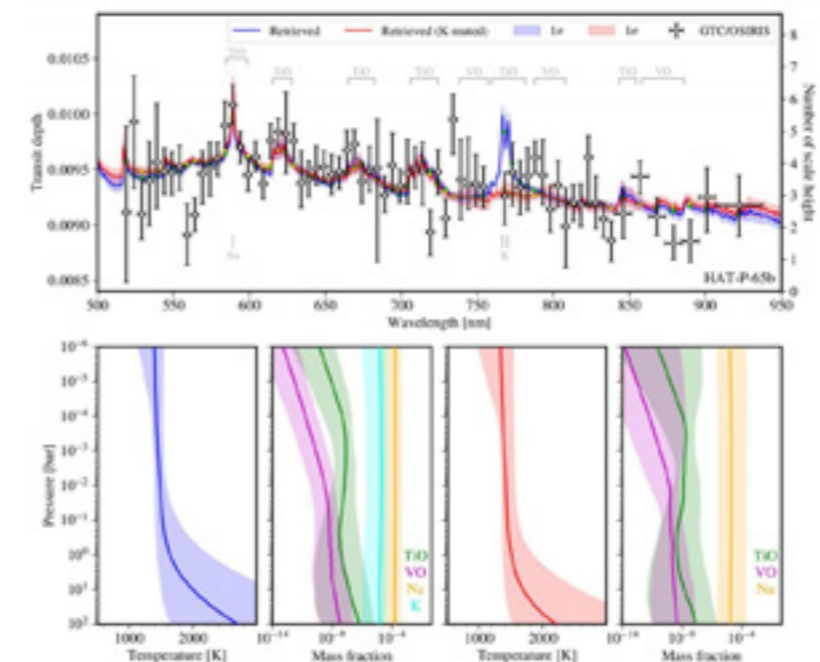
Detection of TiO and Na in the atmosphere of the hot Jupiter HAT-P-65b

El espectrógrafo OSIRIS del Gran Telescopio CANARIAS de 10,4 m se utilizó para observar los espectros de transmisión de baja resolución del júpiter caliente hinchado HAT-P-65b (0,53 MJup, 1,89 RJup, $T_{eq} = 1930$ K) a lo largo de dos tránsitos. Los espectros de transmisión obtenidos durante las dos noches son consistentes, cubriendo el rango de longitudes de onda de 517-938 nm y compuestos por bins espectrales de 5 nm en su mayoría. Un análisis de recuperación espectral de la química de equilibrio sobre el espectro de transmisión ajustado conjuntamente como resultado una temperatura de equilibrio de $1645_{(-244)}^{(+255)}$ K y una cobertura de nubes del $36_{(-17)}^{(+23)}$ %, lo que revela una atmósfera planetaria relativamente clara.

Basándose en la recuperación de la química libre, se encontraron sólidas evidencias de la presencia de óxido de titanio (TiO). Los análisis individuales adicionales de cada noche revelan evidencia de débil a moderada para el TiO en ambas noches, pero evidencia moderada para el Na o el VO solo en una de las noches. Las futuras observaciones de espectroscopia Doppler de alta resolución y de emisión ayudarán a confirmar la presencia de TiO y a restringir su papel en la formación de la estructura térmica vertical de la atmósfera de HAT-P-65b.

The OSIRIS spectrograph on the 10.4 m Gran Telescopio CANARIAS was used to observe the low-resolution transmission spectra of the puffy hot Jupiter HAT-P-65b (0.53 MJup, 1.89 RJup, $T_{eq} = 1930$ K) across two transits. The transmission spectra obtained during the two nights are consistent, covering the wavelength range 517–938 nm and consisting of mostly 5 nm spectral bins. An equilibrium-chemistry spectral retrieval analysis on the jointly fitted transmission spectrum resulted in an equilibrium temperature of $1645_{(-244)}^{(+255)}$ K and a cloud coverage of $36_{(-17)}^{(+23)}$ %, revealing a relatively clear planetary atmosphere.

Based on free-chemistry retrieval, strong evidence was found for titanium oxide (TiO). Additional individual analyses for each night reveal weak-to-moderate evidence for TiO in both nights but moderate evidence for Na or VO only in one of the nights. Future high-resolution Doppler spectroscopy and emission observations will help confirm the presence of TiO and constrain its role in shaping the vertical thermal structure of HAT-P-65b's atmosphere.



Arriba: espectro de transmisión de HAT-P-65b y modelos recuperados; datos (blanco) y resultados de las recuperaciones completas (azul) y sin K (rojo). Abajo: perfiles de temperatura-presión y fracciones de masa recuperados para las recuperaciones completas (izquierda) y sin K (derecha).

Top: HAT-P-65b transmission spectrum and retrieved models; data (white) and results from the full (blue) and K-muted (red) retrievals. Bottom: retrieved temperature-pressure profiles and mass fractions for the full (left) and K-muted (right) retrievals.

Caracterización de la galaxia anfitriona a partir de blazares de rayos gamma

Characterisation of the host galaxy from gamma-ray blazars

La radiación electromagnética más extrema que se puede observar se conoce como rayos gamma de muy alta energía (VHE, $E > 100$ GeV). Es la última ventana abierta al Universo, gracias al desarrollo de los telescopios Cherenkov. El cielo extragaláctico VHE está todavía en su mayor parte inexplorado y solo se compone de unas 80 fuentes conocidas. La gran mayoría de ellas se clasifican como blazares, un tipo de núcleo galáctico activo (AGN, por sus siglas en inglés) cuyos chorros relativistas apuntan en dirección a la Tierra, potenciando su emisión.

Mientras que la observación de la emisión de rayos gamma es crucial para comprender los mecanismos físicos extremos que tienen lugar en los chorros relativistas de los blazares, la caracterización óptica de sus galaxias anfitrionas desempeña un papel clave en el estudio de estas fuentes cosmológicas extremas.

Hay tres aspectos principales para los que son esenciales las observaciones espectroscópicas ópticas. La primera es la distancia del objetivo (corrimiento al rojo), que solo puede derivarse con seguridad de las características espectrales de emisión/absorción ópticas. Los rayos gamma son absorbidos al interactuar con el campo de fotones difusos de baja energía (luz de fondo extragaláctica) en su camino hacia la Tierra. Esta absorción depende en gran medida de la distancia de la fuente; por lo tanto, el desplazamiento al rojo es clave para inferir la emisión intrínseca de rayos gamma.

El segundo aspecto está relacionado con las características de las líneas de emisión ópticas, ya que son un sustituto para caracterizar la región de líneas anchas (BLR), cuyo campo de fotones puede inducir la absorción de rayos gamma. El último aspecto importante es que la emisión de los blazares extremos alcanza su punto máximo a energías más altas, desvelando la emisión de la galaxia anfitriona. Por lo tanto, su espectro óptico nos permite sondear la población estelar, que suele estar oculta debido a la fuerte emisión de sus chorros relativistas.

La distancia a tres blazares de rayos gamma VHE se ha estimado con certeza por primera vez. Una campaña espectroscópica, realizada con los telescopios TNG, NOT y WHT, durante diferentes estados de flujo en S4 0954+65 fue clave para detectar las débiles líneas de emisión. La emisión continua del chorro suele eclipsar a la galaxia anfitriona, lo que hace que la detección de características espectrales sea muy difícil.

The most extreme electromagnetic radiation that can be observed is known as very high energy gamma rays (VHE, $E > 100$ GeV). It is the last window open to the Universe, thanks to the development of Cherenkov telescopes. The extragalactic VHE sky is still mostly unexplored and only composed of around 80 known sources. The great majority of them are classified as blazars, a type of Active Galactic Nuclei (AGN) whose relativistic jets point in the direction of the Earth, boosting their emission.

While observing the gamma-ray emission is crucial to understanding the extreme physical mechanisms taking place at the relativistic jets from blazars, the optical characterisation of their host galaxies plays a key role in the study of these extreme cosmological sources.

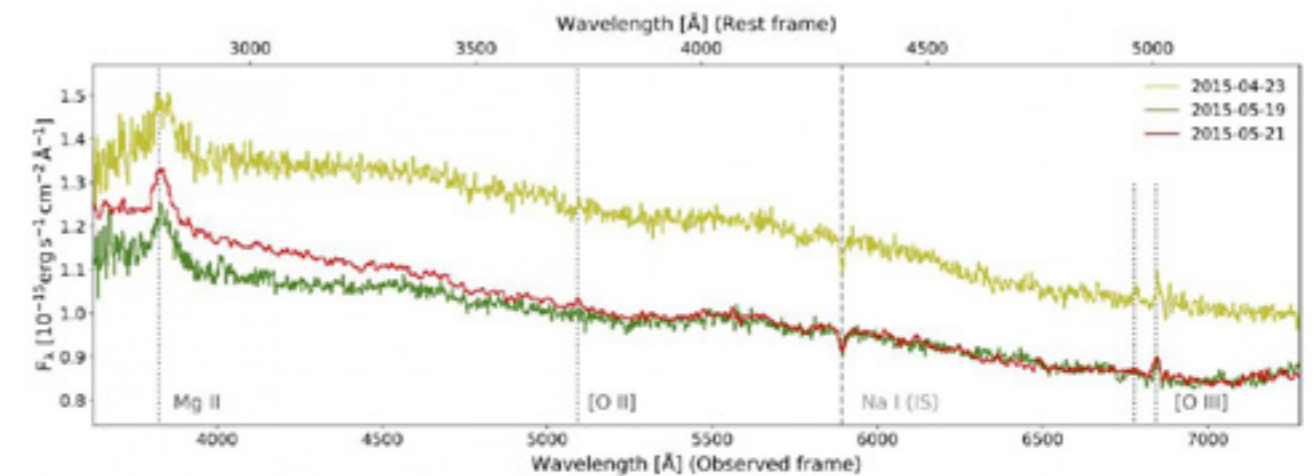
There are three main aspects for which optical spectroscopic observations are essential. The first one is the target's distance (redshift), which can only be derived confidently from optical emission/absorption spectral features. Gamma rays are absorbed when interacting with the low energy diffuse photon field (Extragalactic Background Light) on their way to the Earth. Such absorption depends strongly on the source's distance; therefore, the redshift is key to inferring the intrinsic gamma-ray emission.

The second aspect is related to the characteristics of the optical emission lines, as they are a proxy to characterise the Broad Line Region (BLR), the photon field of which can induce gamma-ray absorption. The last important aspect is that the emission of extreme blazars peaks at higher energies, unveiling the host galaxy emission. Therefore, their optical spectrum allows us to probe the stellar population, which is typically hidden due to the strong emission from their relativistic jets.

The distance to three VHE gamma-ray blazars has now been estimated firmly for the first time. A spectroscopic campaign, using the TNG, NOT and WHT telescopes, during different flux states on S4 0954+65 was key to detecting the weak emission lines. The continuum emission from the jet typically outshines the host galaxy, making detecting spectral features very challenging.

Por lo tanto, la observación durante los estados de bajo flujo del chorro es vital para detectar características espectrales débiles. También se ha investigado la población estelar de los blazares VHE TXS 1515-273 y RX J0812.0+0237. Ambos casos muestran una población estelar antigua y metálica, características de las galaxias elípticas gigantes.

Therefore, the observation during the low-flux states of the jet is vital for detecting weak spectral features. The stellar population has also been investigated for the VHE blazars TXS 1515-273 and RX J0812.0+0237. Both cases show an old and metallic stellar population, characteristics of giant elliptical galaxies.



Espectro óptico del blazar de rayos gamma VHE S4 0954+65. La detección de las líneas de emisión permite establecer con certeza el desplazamiento al rojo y las características de la fuente.

Optical spectrum from the VHE gamma-ray blazar S4 0954+65. The detection of the emission lines allows us to establish the redshift and the characteristics of the source firmly.

ERUPCIÓN VOLCÁNICA EN LA PALMA: LA EXPERIENCIA EN LOS OBSERVATORIOS

VOLCANIC ERUPTION IN LA PALMA: THE EXPERIENCE OF THE OBSERVATORIES

El 19 de septiembre de 2021 comenzó una erupción volcánica en la zona de Cabeza de Vaca, dentro de la dorsal de Cumbre Vieja de La Palma. Es la última de las 16 erupciones históricas ocurridas en Canarias desde finales del s. XV, siete de ellas en esa isla, y una más de las incontables erupciones que han construido el archipiélago desde hace más de 20 millones de años.

Habían pasado casi exactamente 50 años desde que el 26 de octubre de 1971 el Teneguía cubriera de lava y piroclastos la despoblada esquina sur de La Palma durante 24 días. Esta vez la erupción se produjo en zona poblada, su extensión y duración han sido mucho mayores y ha tenido un importante impacto social y económico. Con 85 días, es la erupción más larga registrada en la isla. En cuanto a la astrofísica, esta erupción surge a solo 16 km de distancia y con una diferencia de cota de 1400 m del Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM). Hoy uno de los sitios de referencia mundial para la observación astronómica, en 1971 no era nada más que un proyecto.

Con unos 2 millones de años, La Palma es una isla joven con periodos de rápido crecimiento y colapso en su historia geológica. Grandes edificios volcánicos dieron forma a la actual mitad norte hasta hace medio millón de años. Estas enormes estructuras, hoy extinguidas, junto con su particular localización geográfica, hacen que La Palma cuente con una cima de 2400 metros con condiciones ideales para la astronomía. Pero la misma condición volcánica hace que periódicamente (cada 75 ± 80 años) haya volcanismo activo en la mitad sur, donde se han registrado todas las erupciones históricas. La ubicación del ORM lo aleja del riesgo de llegada de lava, bombas o lapilli, pero no de cenizas o gases.

Esta erupción ha tenido las mismas características que las anteriores: de tipo fisural-estromboliano, lavas fluidas y explosividad baja o moderada que genera columnas eruptivas de hasta 5 km de altura y da lugar a volcanes monogenéticos que crean su propio cono de escorias en un único proceso.

El IAC tiene, a fin de optimizar su explotación científica, un grupo especializado en la caracterización atmosférica de sus dos observatorios. No obstante, las peculiaridades de los productos emitidos y la dinámica del volcán exigieron un esfuerzo extra para adaptar datos existentes, aumentar sensores y predicciones o emitir informes de evaluación. El IAC, además, como responsable de la coordinación de la seguridad y emergencias, desplegó un sistema específico de apoyo a los observatorios y sus instituciones usuarias (IU).

Para aumentar su capacidad de respuesta, se invitó al IAC a las reuniones diarias del Comité Científico del Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgo Volcánico en Canarias

On September 19, 2021, a volcanic eruption began in the Cabeza de Vaca area, within the Cumbre Vieja ridge of La Palma. It is the latest of the 16 historical eruptions that have occurred in the Canary Islands since the end of the 15th century, seven of them on this island, and one more of the countless eruptions that have built up the archipelago over more than 20 million years.

Almost exactly 50 years had passed since October 26, 1971, when the Teneguía covered the uninhabited southern corner of La Palma with lava and pyroclasts for 24 days. This time, the eruption occurred in a populated area, its extent and duration have been much greater and it has had a major social and economic impact. At 85 days, it is the longest eruption ever recorded on the island. With regard to astrophysics, this eruption is only 16 km away and at an elevation difference of 1400 m from the Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM). Today this is one of the world's reference sites for astronomical observation, but in 1971, it was no more than a project.

About 2 million years old, La Palma is a young island with periods of rapid growth and collapse in its geological history. Large volcanic edifices shaped today's northern half until half a million years ago. These enormous structures, now extinct, together with its particular geographical location, gave La Palma a 2,400-metre peak with ideal conditions for astronomy. But the same volcanic nature means that periodically (every 75 ± 80 years) there is active volcanism in the southern half, where all historical eruptions have been recorded. The location of the ORM places it away from the risk of incoming lava, bombs or lapilli, but not from ash or gases.

This eruption has had the same characteristics as the previous ones: fissural-strombolian type, fluid lavas and low to moderate explosivity that generates eruptive columns up to 5 km high and gives rise to monogenetic volcanoes that create their own slag cone in a single process.

In order to optimise the scientific exploitation of its observatories, the IAC has a group specialised in their atmospheric characterisation. However, the peculiarities of the emitted products and the dynamics of the volcano required extra effort to adapt existing data, to increase the number of sensors and predictions or to issue assessment reports. The IAC, in addition, as responsible for the coordination of security and emergencies, deployed a specific support system for the observatories and their user institutions (UIs).

To increase its response capacity, the IAC was invited to the daily meetings of the Scientific Committee of the Special Plan for Civil Protection and Emergency Response to Volcanic Hazards in the Canary Islands (PEVOLCA), created by the Government of the

(PEVOLCA), creado por el Gobierno de Canarias en 2010 para dar una respuesta coordinada y ágil ante los procesos volcánicos. Además, el IAC puso a disposición de las autoridades e instituciones científicas sus instalaciones y recursos.

El IAC emitió informes con toda la información disponible cada 12 horas, personalizados para cada observatorio, durante todo el periodo eruptivo. Estos 323 informes se distribuyeron en una web creada expresamente, junto con otros contenidos e imágenes en tiempo real. Se elaboró una escala cualitativa (0-4) de evaluación subjetiva del riesgo de caída de cenizas o llegada de gases, actualizada en cada informe, con un horizonte de 48 horas, tras analizar todos los parámetros observados e interpretar los modelos especializados de predicción. Se mantuvieron, además, las acciones y comunicaciones habituales de coordinación de emergencias.

Canary Islands in 2010 to provide a coordinated and agile response to volcanic processes. On top of that, the IAC made its facilities and resources available to the authorities and scientific institutions.

The IAC issued reports with all available information every 12 hours, customised for each observatory, during the whole eruptive period. These 323 reports were distributed on a specially created website, along with other content and real-time images. A qualitative scale (0-4) of subjective assessment of the risk of ash fall or gas arrivals, updated in each report, was elaborated with a 48-hour horizon, after analysing all observed parameters and interpreting the specialised prediction models. In addition, the usual emergency coordination actions and communications were maintained.



Pluma volcánica
Volcanic plume

En el ORM, las principales preocupaciones fueron la posible afección por terremotos de magnitud superior a 4 y la llegada de la columna eruptiva en forma de cenizas y gases. La actividad sísmica fue moderada, incluso cerca del centro eruptivo. Ni la estación sísmica del observatorio ni los acelerómetros de los telescopios detectaron actividad significativa. Tampoco la estación geodésica del ORM registró desplazamientos. No hubo daños ni en infraestructuras ni en sistemas ópticos.

Aunque la capa de inversión bloqueó parte de las emisiones, la columna eruptiva alcanzó alturas superiores a la del observatorio y el viento arrastró cenizas hasta el ORM. Se midieron concentraciones importantes de polvo de cenizas, aunque solo de forma puntual. Esto simplificó las tareas de limpieza que, no sin dificultades, se afrontaron en los días siguientes.

In the ORM, the main concerns were the possible effects of earthquakes of magnitude 4 and above and the arrival of the eruptive plume in the form of ash and gases. Seismic activity was moderate, even near the eruptive centre. Neither the observatory's seismic station nor the telescopes' accelerometers detected significant activity. Nor did the ORM geodetic station record any shifting. There was no damage to infrastructure or optical systems.

Although the inversion layer blocked some of the emissions, the eruptive plume reached heights above the observatory and the wind blew ash into the ORM. Significant concentrations of ash dust were measured, although only occasionally. This simplified the clean-up tasks that, not without difficulty, were tackled in the following days.

A la presencia de gases se prestó especial interés, ya que afecta a la seguridad de las personas. La dinámica inducida por la orografía de la Caldera de Taburiente y posibles efectos de marea barométrica causaron que en el ORM se registraran los valores de SO₂ más altos de La Palma durante todo el proceso eruptivo. Fueron episodios muy intensos que duplicaron el límite superior del Índice de Calidad de Aire, aunque duraron pocas horas. Esto obligó puntualmente a recomendar confinar al personal dentro de las instalaciones. Depositiones esporádicas y muy ligeras de cenizas y valores muy altos de SO₂ se registraron también a más de 140 km, en Izaña, donde se ubica el OT.

El esfuerzo desarrollado, estando día a día, casi hora a hora, pendientes del proceso eruptivo, permitió minimizar los daños en el ORM que, a pesar del im-

Particular attention was paid to the presence of gases, as it affects the safety of people. The dynamics induced by the orography of the Caldera de Taburiente and possible barometric tidal effects caused the ORM to record the highest SO₂ values on La Palma during the whole eruptive process. These were very intense episodes that doubled the upper limit of the Air Quality Index, although they lasted only a few hours. This prompted on a few occasions the recommendation to confine staff within the premises. Sporadic and very light ash depositions and very high SO₂ values were also recorded more than 140 km away, at Izaña, where the OT is located.

The efforts made, day by day, almost hour by hour, to follow the eruptive process made it possible to minimise the damage to the ORM, which, despite the impact, did not close. The large telescopes, however, suffered significant losses of observing time, in some



Cono volcánico en erupción
Erupting volcanic cone

pacto, no cerró. Los grandes telescopios, no obstante, sufrieron importantes pérdidas de tiempo de observación, en algunos casos del 100 %, que se trataron de compensar adelantando tareas de ingeniería. Los telescopios medianos o pequeños, aunque con limitaciones, sí pudieron operar, alcanzando tiempos útiles de hasta el 30 %.

Finalizada la erupción, se han mantenido trabajos de investigación para valorar el impacto y analizar las muestras de cenizas. Los resultados han despertado el interés de instituciones como el Telescopio de Treinta Metros (TMT), cuyo sitio alternativo es el ORM, pero que tiene una ubicación propuesta en Mauna Kea que también se ve afectada por las erupciones del Kilauea. Algunos de nuestros resultados se presentarán este año en la reunión de la Unión Europea de Geociencias (EGU).

cases 100 %, which they tried to compensate for by advancing engineering work. Medium or small telescopes, although with limitations, were able to operate, achieving up to 30 % uptime.

After the eruption, research work has been carried out to assess the impact and analyse ash samples. The results have attracted the interest of institutions such as the Thirty Meter Telescope (TMT), whose alternative site is ORM, but which has a proposed location on Mauna Kea that is also affected by Kilauea's eruptions. Some of our results will be presented this year at the European Geosciences Union (EGU) meeting.



**RESULTADOS
TECNOLÓGICOS**

**TECHNOLOGICAL
RESULTS**

La minirred ASTRI The ASTRI mini-array

La minirred ASTRI es un proyecto del INAF para construir y operar un observatorio que estudie las fuentes astronómicas que emiten a muy alta energía en la banda espectral de TeV. La minirred consta de nueve telescopios de imágenes atmosféricas Cherenkov que se instalarán en el Observatorio Astronómico del Teide en virtud de un acuerdo de instalación entre el IAC y el INAF. Gracias a su rendimiento global previsto, mejor que el de las redes de telescopios Cherenkov actuales para energías superiores por encima de 5 TeV y de hasta 100 TeV y más, esta red será un instrumento fundamental para realizar observaciones profundas del cielo galáctico y extragaláctico a estas energías.

The ASTRI mini-array is an INAF project to build and operate an observatory to study astronomical sources emitting at very high energy in the TeV spectral band. The mini-array consists of nine imaging atmospheric Cherenkov telescopes that will be installed at the Observatorio del Teide based on a host agreement between the IAC and the INAF. Thanks to its expected overall performance, better than that of the current arrays of Cherenkov telescopes for energies above 5 TeV and up to 100 TeV and beyond, the array will be an important instrument to perform deep observations of the galactic and extragalactic sky at these energies.



Distribución de la minirred ASTRI. La figura muestra las posiciones de los telescopios, las de las torres meteorológicas, el LIDAR, la ubicación de la estación transformadora y la de la sala de control local y del centro de datos. (Imagen del editor de Open Street Map).

The ASTRI mini-array layout. The figure shows the positions of the telescopes, the meteorological towers, the LIDAR, the transformer station, the local control room and the data centre. (Image from Open Street Map editor).

La actividad principal que se llevó a cabo en el Observatorio del Teide durante 2021 fue construir la infraestructura necesaria para que el lugar de observación fuera apto para albergar los telescopios de ASTRI. Las obras comenzaron en octubre y su duración aproximada será de nueve meses. Las actividades se centraron principalmente en las obras civiles, en concreto en los cimientos del telescopio y en las redes de datos y de suministro eléctrico, además de en las renovaciones del centro de transformación y del centro de datos alojado en la Residencia del OT.

The main activity that took place at the Teide site in 2021 has been the realization of the infrastructure needed to make the observational site suitable to host the ASTRI telescopes. The works started in October and will last approximately nine months. Activities have focused mainly on civil works, particularly on the realization of the telescope foundations and the data and power networks and on the renovations of the transformer centre and the data centre hosted at the OT Residencia.



Cimientos del ASTRI-1. La imagen muestra el armazón, los micropilotes y la plantilla con los pernos de anclaje a los que se conectará el telescopio.

Foundation of ASTRI-1. The image shows the armour cage, the micropiles, and the template with the anchor bolts to which the telescope will be connected.

Las actividades en otros subsistemas también progresaron con la finalización de todos los paneles de los espejos primarios, la producción de la mitad de los detectores SiPM y el inicio de las actividades para fabricar las cámaras Cherenkov.

Por último, la integración del primer telescopio de red comenzó en los laboratorios del grupo EIE en Italia, y el telescopio se envió a Tenerife finales de mayo.

Activities on other subsystems have also progressed with the completion of all primary mirrors panels, the ongoing production of SiPM detectors and the start of the activities for the production of the Cherenkov cameras.

Finally, the integration of the first telescope of the mini-array started at the EIE group labs in Italy, with the telescope shipped to Tenerife by the end of May.



El telescopio ASTRI-1 en el centro de integración italiano. La imagen muestra la estructura mecánica completamente montada y los 18 paneles del espejo primario ya integrados en el telescopio. La película blanca protege los espejos.

ASTRI-1 telescope at the Italian integration site. The image shows the mechanical structure completely assembled and the 18 panels of the primary mirror already integrated into the telescope. White film protects the mirrors.

Laboratorio de CMB en el OT CMB Laboratory at the OT

QUIJOTE. El experimento QUIJOTE (Q U I JOint TEnerife) tiene como objetivo caracterizar la polarización del fondo cósmico de microondas (FCM) y otros procesos de emisión galáctica y extragaláctica en el rango de frecuencias de 10-42 GHz y a grandes escalas angulares (un grado de resolución). QUIJOTE consta de dos telescopios (QT-1 y QT-2) y varios instrumentos.

El instrumento visitante KISS, un espectrómetro basado en KID que opera entre 100 y 280 GHz, y desarrollado por varios institutos de Grenoble (Francia), realizó observaciones en el QT-1 hasta septiembre de 2021. Se publicó un artículo en el que se presentó una primera caracterización y calibración de este instrumento, a partir de observaciones de calibración. Durante 2021 se ha iniciado la fase AIV del instrumento MFI2 (10-20 GHz), una versión mejorada del instrumento MFI que operó en el QT-1 en 2012-2018, y que usa un nuevo sistema de adquisición y preprocesado de datos basado en tecnología FPGA.



Instrumento TFGI instalado en el QT-2
TFGI instrument installed on QT-2

A finales de 2021 se volvió a instalar en el QT-2 y comenzó a observar el instrumento TFGI, que combina detectores a 30 y 40 GHz. Las observaciones se han iniciado con siete polarímetros. Gracias a tener un mayor número de detectores, el TFGI producirá mapas más sensibles que el MFI, lo que permitirá medir con mayor precisión y a más altas frecuencias el FCM y el espectro de sus contaminantes galácticos.

TMS. En 2021 se continuó el desarrollo instrumental del Espectrómetro de Microondas Tenerife (TMS), que complementa al QUIJOTE en la banda 10-20 GHz. En particular, se completó el diseño óptico basado en dos espejos que proporcionan una resolución de 2 grados, se completó la revisión de diseño de la montura y se realizaron las pruebas de verificación de la carga fría a 4K en INAF (Bologna).

QUIJOTE. The QUIJOTE (Q U I JOint TEnerife) experiment has the goal to characterise the polarisation of the cosmic microwave background (CMB) and other galactic and extragalactic processes emitting in the frequency range 10-42 GHz and at large angular scales (one-degree angular resolution). QUIJOTE consists of two telescopes (QT-1 and QT-2) and various instruments.

KISS is a visitor spectroscopic instrument based on KIDs operating between 100 and 280 GHz, and developed by various research institutes in Grenoble (France). It was used to observe with the QT-1 until September 2021. Using commissioning observations, an article was published presenting this instrument's first characterisation and calibration. The multi-frequency instrument-2 (MFI2; 10-20 GHz), an improved version of the MFI that was operative on the QT-1 between 2012 and 2018, and which uses an improved data acquisition and pre-processing system based on FPGA technology, started its assembly, integration and verification phase during 2021.

Towards the end of 2021, the thirty-four GHz instrument (TFGI), with detectors both at 30 and 40 GHz, was re-installed on the QT-2 and started observations with seven polarimeters. Thanks to having a larger number of detectors, the TFGI will produce more sensitive maps than the MFI, allowing it to measure the CMB and the spectrum of its galactic contaminants with higher accuracy and at higher frequencies.

TMS. The technological development of the Tenerife Microwave Spectrometer (TMS), which complements QUIJOTE in the 10-20 GHz band, continued during 2021. In particular, the optical design was completed, based on two mirrors providing an angular resolution of two degrees, as well as the design of the telescope mount. The verification tests of the 4K cold load were also carried out at INAF (Bologna).

Mejora del conjunto de tubos ópticos Optical tube assembly upgrade

En julio de 2021, PIRATE y COAST recibieron nuevos conjuntos de tubos ópticos de mayor apertura. La cúpula del PIRATE alberga ahora un astrógrafo Dall-Kirkham PlaneWave de 60 cm corregido. El anterior ocupante, un astrografo PlaneWave de 43 cm, se trasladó a la cúpula del COAST y sustituyó al Schmidt Cassegrain de 14 pulgadas que tanto tiempo ha estado en servicio. Este, a su vez, se donó al IAC para darle un uso flexible. Aparte de los nuevos pilares, más cortos, todo el resto del hardware, incluidos la montura, la cámara y los filtros, se mantuvo igual en ambas cúpulas. La tabla resume las configuraciones mejoradas de los telescopios, ahora denominados PIRATE Mk IV y COAST Mk III.

In July 2021, PIRATE and COAST received new, larger aperture optical tube assemblies. The PIRATE dome now hosts a 60 cm PlaneWave corrected Dall-Kirkham astrograph. The previous occupant, a 43 cm PlaneWave astrograph, moved to the COAST dome and replaced the long-serving 14 inches Schmidt Cassegrain. This, in turn, was donated to the IAC for flexible use. Apart from new, shorter pillars, all other hardware, including mount, camera and filters, remained the same in both domes. The table summarizes the upgraded telescope configurations, now denoted PIRATE Mk IV and COAST Mk III.

	PIRATE Mark IV	COAST Mark III
OTA	CDK24 (61 cm) 3974 mm (f/6.5)	CDK17 (43 cm) 2939 mm (f/6.8)
Cámara / Camera	FLI ProLine KAF-16803, 4096x4096 px, 9 micras/microns/px	FLI ProLine KAF-09000, 3056x3056 px, 12 micras/microns/px
Campo de visión / Field of view	32 arcmin, 0.47 arcsec/px	43 arcmin, 0.84 arcsec/px



Telescopios PIRATE and COAST antes de la mejora
PIRATE and COAST telescopes before the upgrade

Telescopio COAST Mark III
COAST Mark III telescope

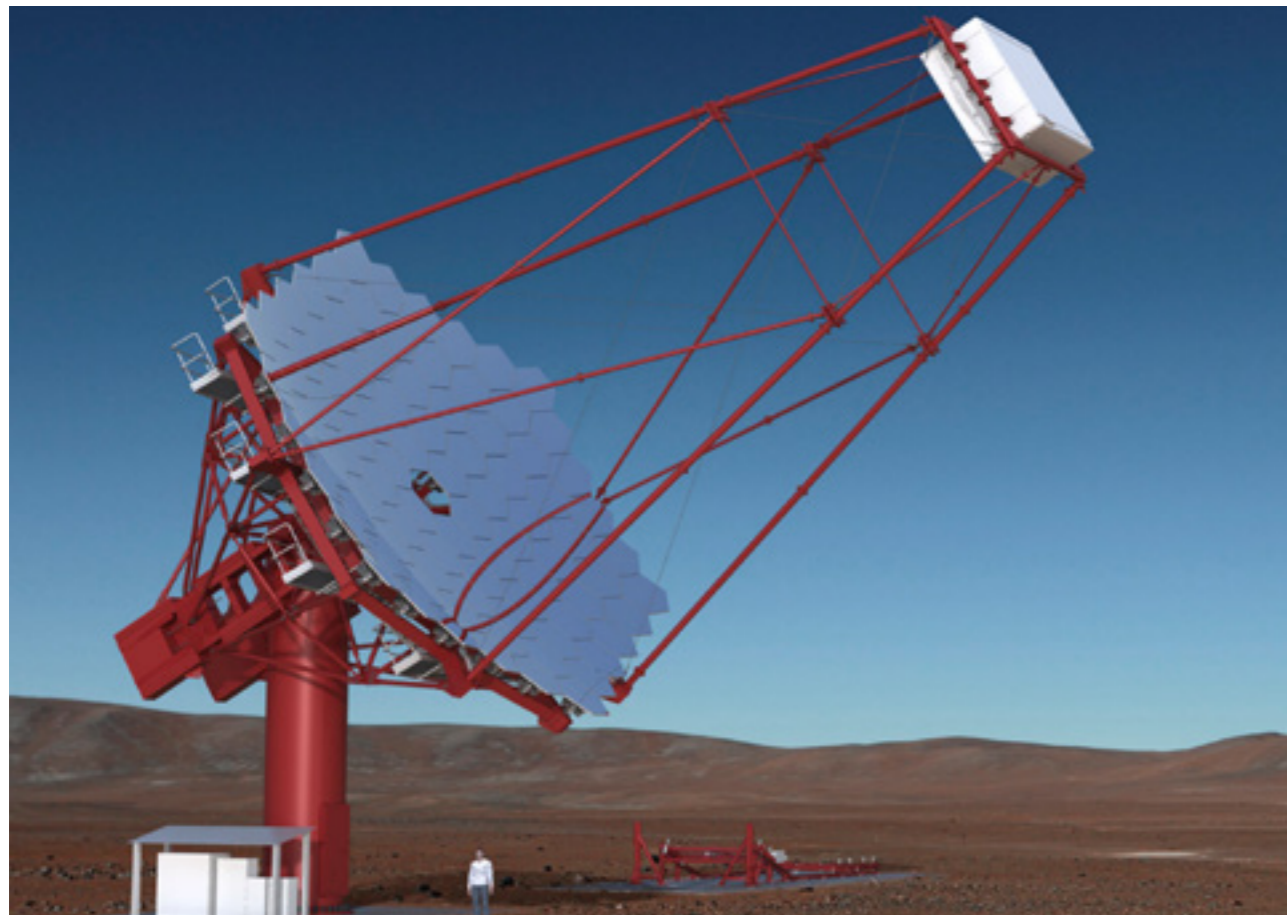


Aprobada la Configuración Alfa de los telescopios del CTAO Norte

Alpha Configuration of telescopes of the CTAO North approved

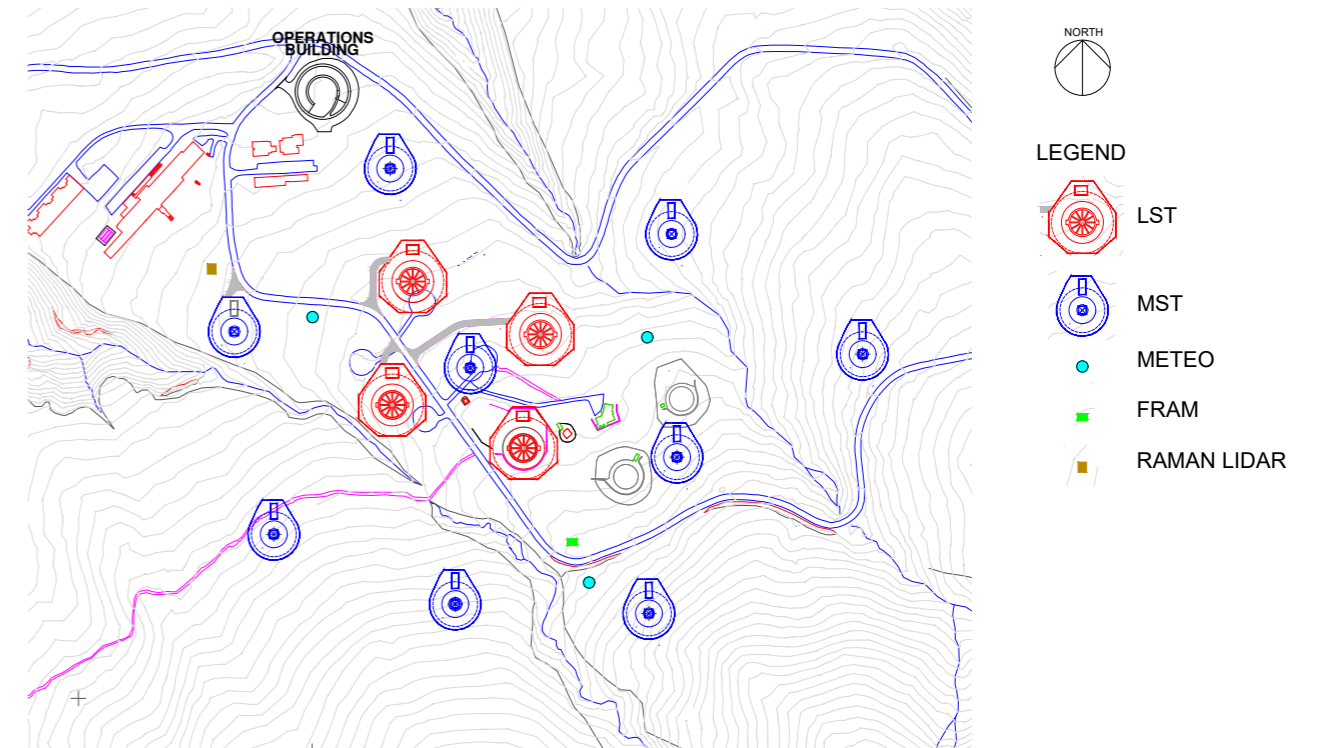
A la espera de obtener los permisos de construcción de las autoridades locales, continúan las actividades de planificación y construcción de la instrumentación que pronto formará parte del emplazamiento del Observatorio norte de la Red de Telescopios Cherenkov. La junta de dirección debatió y aprobó la configuración final de las redes del CTAO, denominada Configuración Alfa, el 24 de junio de 2021. La red norte se construirá por etapas e incluye de entrada cuatro LST (telescopios de gran tamaño, por sus siglas en inglés), uno de los cuales, el LST-1, está actualmente en servicio en el Roque de Los Muchachos, y cinco MST (telescopios de tamaño medio) de 12 m y, en segunda instancia, cuatro MST más. La disposición seleccionada de la red norte de la Configuración Alfa se muestra en la figura, donde el color rojo indica los LST y el azul, los MST.

Pending obtaining the construction permits from the local authorities, planning activities and construction of the instrumentation that will soon be part of the North site of the Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO) continue. The final configuration of the CTAO arrays, dubbed Alpha Configuration, has been discussed and approved by the board of government representatives on June 24, 2021. The Northern array will be built in steps, including at first four large-sized telescopes (LSTs), one of which, the LST-1, is currently under commission at Roque de Los Muchachos, and nine 12 m medium-sized telescopes (MSTs). The selected layout of the Northern Array of the Alpha Configuration is shown in the figure, where the blue colour shows the MSTs.



El CTAO construirá en el ORM nueve telescopios de tamaño medio como el que se muestra en esta representación, junto con cuatro telescopios de gran tamaño similares al que está en servicio en el observatorio, llamado LST-1. Se está evaluando el impacto medioambiental y obteniendo los permisos de construcción de las autoridades locales.

The CTAO will build at the ORM nine medium-sized telescopes like the one shown in this rendering, alongside four large-sized telescopes similar to the one currently under commissioning at the observatory and named LST-1. Evaluating the environmental impact and obtaining construction permits from local authorities are underway.



Mapa de la Configuración Alfa de la red norte de Telescopios del CTAO
Map of the Alpha Configuration of the CTAO Northern array

El CTAO será la primera instalación abierta a la comunidad científica internacional para la astronomía de muy alta energía. Tendrá dos ubicaciones: una en el Observatorio del Roque de Los Muchachos, en La Palma, y otra cerca del Observatorio de Paranal, en el desierto de Atacama, en Chile. Con 14 países como contribuyentes potenciales, el CTAO podrá observar fenómenos astronómicos de alta energía en todo el cielo.

Entre las actividades del año se encuentra la colocación de la primera piedra para la construcción del Centro de Gestión de Datos Científicos en Zeuthen, Alemania, que coordinará el análisis de los datos recogidos por las dos redes. También se están llevando a cabo actividades de planificación para el funcionamiento y el mantenimiento del observatorio, así como para la futura aceptación de las distintas infraestructuras en las ubicaciones de la red.

The CTAO will be the first facility for very-high-energy astronomy open to the international scientific community. There will be two array sites: one located at the Observatorio del Roque de Los Muchachos in La Palma and one near the Paranal Observatory in the Atacama Desert in Chile. With 14 potential contributing countries, the CTAO will be able to observe high-energy astronomical phenomena across the entire sky.

Among the year's activities was laying the foundation stone for the construction of the Science Data Management Centre in Zeuthen, Germany, which will coordinate the analysis of the data collected by the two arrays. Planning activities are also ongoing for the observatory's operation and maintenance and for the future acceptance of the various infrastructures at the array sites.

El Telescopio Solar Europeo (EST) es una iniciativa promovida por la Asociación Europea de Telescopios Solares (EAST), organización que reúne 24 instituciones de 18 países europeos, y será el mayor telescopio solar jamás construido en Europa. Con un espejo primario de 4,2 metros, triplicará la capacidad colectora de fotones y de resolución angular de los telescopios solares europeos. Este es un aspecto clave para observar al Sol rápidamente, antes de que las estructuras magnéticas que lo pueblan cambien. Además, el EST detectará señales débiles que ahora, simplemente, quedan enterradas en el ruido. El EST supondrá un avance sin precedente en nuestra comprensión del Sol.

The European Solar Telescope (EST) is an initiative promoted by the European Association of Solar Telescopes (EAST), an umbrella organisation of 24 institutions in 18 European countries, and will be the largest Solar telescope ever built in Europe. With a 4.2 metre primary mirror, it will triple the photon-collecting capacity and angular resolution of European Solar telescopes. This is a key aspect for observing the Sun quickly, before the magnetic structures that populate it change. In addition, the EST will detect faint signals that are now simply buried in the noise. The EST will be an unprecedented advance in our understanding of the Sun.



Simulación del EST en la ubicación aprobada
EST simulation at the approved site

En busca del mejor telescopio solar del mundo Aiming for the world's best Solar telescope

España se ha comprometido a apoyar el proyecto con el 25 % del coste de un presupuesto total de 220 millones de euros, y su Oficina de Proyecto (OP) está consolidada en la nueva sede de IACTEC en La Laguna, Tenerife. Este equipo trabaja en estrecha colaboración con los socios del consorcio europeo y con la industria para cerrar el diseño del EST y la preparación de la fase de construcción. En 2023 se realizará la PDR «Preliminary Design Review» con el fin de dejar el proyecto listo para iniciar su construcción a partir de 2024.

Tras la consolidación del sitio en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la zona del Telescopio Solar Sueco (SST) y el telescopio Solar Abierto Holandés (DOT), la OP trabaja en la adaptación al mismo del edificio e instalaciones del EST, minimizando el impacto en el entorno y en las instalaciones próximas, y en la contratación de los estudios para la tramitación ambiental.

Las variaciones térmicas a pequeña escala crean turbulencias en la atmósfera de la Tierra y degradan la calidad de la imagen. Para minimizar este problema, se ha incorporado de manera natural en el camino óptico un sistema de óptica adaptativa multiconjugada (MCAO) desde las primeras fases. Este sistema corregirá las distorsiones del frente de onda procedentes de dos capas separadas de la atmósfera, además de la capa superficial cercana al suelo. El IAC ha desarrollado un banco demostrador con tres espejos deformables que permitirá consolidar el concepto de este complejo sistema de MCAO.

El EST contará con siete instrumentos para el análisis en diferentes longitudes de onda, agrupados en tres categorías, para cuyo diseño y fabricación se han creado tres consorcios, uno por cada tipo de instrumento, en los que participan diferentes instituciones internacionales.

Estas categorías de instrumentos son: a) de banda fija –FBI– que permiten capturar imágenes de gran campo de visión y con la mayor resolución espacial y temporal posible; b) de banda sintonizable –TBI–, que permiten tener acceso a información física de los procesos que suceden en la superficie solar, aunque con menor cadencia y sobre un menor campo de visión, y c) espectrógrafos con unidades de campo integral –IFS– que sustituyen a los espectrógrafos de rendija larga tradicionales.

Spain has committed to supporting the project with 25 % of the cost of a total budget of 220 million euros, and its project office (PO) is located at IACTEC's new headquarters in La Laguna, Tenerife. This team works closely with the European consortium partners and industry to close the EST design and to prepare the construction phase. In 2023, the "Preliminary Design Review" (PDR) will be carried out in order to make the project ready to start construction from 2024.

Following the consolidation of the site at the Roque de los Muchachos Observatory, in the area of the Swedish Solar Telescope (SST) and the Dutch Open Solar Telescope (DOT), the PO is working on adapting the EST building and facilities to the site, minimising the impact on the surroundings and on nearby facilities, and on contracting studies for environmental processing.

Small-scale thermal variations create turbulence in the Earth's atmosphere and degrade image quality. To minimise this problem, a Multi-Conjugate Adaptive Optics (MCAO) system has been naturally incorporated into the optical path from the earliest stages. This system will correct the wavefront distortions coming from two separate layers of the atmosphere, in addition to the surface layer near the ground. The IAC has developed a demonstrator bench with three deformable mirrors to consolidate the concept of this complex MCAO system.

The EST will have seven instruments for analysis at different wavelengths, grouped into three categories. Three consortia have been created for their design and manufacture, one for each type of instrument, with the participation of different international institutions.

These categories of instruments are: a) Fixed Band—FBI—which allows the capture of images with a large field of view and with the highest possible spatial and temporal resolution; b) Tunable Band—TBI—, which allows access to physical information on the processes occurring on the solar surface, although at a lower rate and over a smaller field of view; and c) Integral Field Unit Spectrographs—IFS—which replace the traditional long-slit spectrographs.

2021 en los telescopios solares alemanes 2021 in the German Solar telescopes

En 2020, a la reconstrucción del sistema óptico de GREGOR se añadió una ampliación de la capacidad de observación remota del telescopio, lo que ayudó en gran medida a realizar campañas de observación científica en 2021 bajo las continuas restricciones impuestas por la COVID-19. Con todo, el apoyo del personal in situ fue crucial para este éxito. Además, durante un breve periodo de tiempo en otoño, se pudieron ejecutar algunas campañas de observación periódicas y tareas de mantenimiento esenciales.

En octubre de 2021, el espejo principal de GREGOR recibió prematuramente un nuevo revestimiento de aluminio en el IAC con el fin de ahorrar un valioso tiempo de observación en 2022, cuando den fruto varias actualizaciones de los instrumentos (GRIS, BBI, HiFi/GFPI), el aumento de las instalaciones de almacenamiento y procesamiento de datos y una conexión a Internet mucho más rápida, todo iniciado en 2021.

Se investigaron los problemas del sistema de control del VTT, aunque su reparación tendrá lugar más adelante, el LARS recibió un nuevo ordenador de control, se actualizó el HELLRIDE y se instaló el nuevo sistema de cámaras FaMuLUS en el espectrógrafo. Se midió la calidad de la nueva ventana de entrada y, a raíz de ello, se retiró la ventana. Debido a su falta de capacidades de observación remota, el VTT no se puede usar para campañas científicas en 2021. El KIS está trabajando en un plan de renovación para este telescopio.



El espejo principal del GREGOR durante la extracción de la célula del espejo para su recubrimiento.

GREGOR main mirror during extraction from the mirror cell for recoating.

In 2020 the rebuild of the GREGOR optical system was accompanied by an extension of the remote observing capabilities of the telescope, which greatly helped to conduct scientific observing campaigns in 2021 under continuing COVID-19 restrictions. Nonetheless, the support of the on-site staff was crucial for this success. In addition, during a short time window in the fall, some regular observation campaigns and essential maintenance tasks could be executed.

In October 2021, the main mirror of GREGOR prematurely received a new aluminium coating at the IAC facilities to save valuable observing time in 2022, when several instrument upgrades (GRIS, BBI, HiFi/GFPI), increased data storage and data processing facilities, and a significantly faster internet connection, all initiated in 2021, will come to full fruition.

The VTT control system problems were investigated (although the actual repair will take place later), The LARS received a new control computer, HELLRIDE was upgraded, and the new FaMuLUS camera system was installed at the spectrograph. The quality of the new entrance window was measured, and consequently, the window was removed. Due to lacking remote observing capabilities, the VTT could not be used for scientific campaigns in 2021. The KIS is working on a VTT refurbishment plan for this telescope.

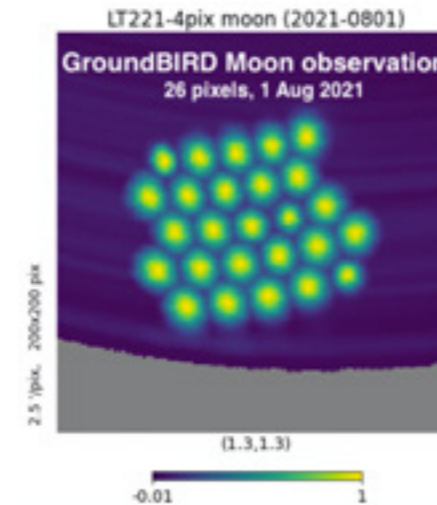
Mejoras en GroundBIRD Upgrades in GroundBIRD

GroundBIRD is a telescope dedicated to the observation of the polarization of the cosmic microwave background at 150 and 220 GHz, with the goal of searching for the "B-mode signal", the afterglow of the Universe's inflation that should have occurred just after the Big Bang.

The scientific capabilities of this project were presented in a paper that was published in the Astrophysical Journal in 2021. The telescope was installed at the Teide observatory in 2019. After a slowdown in 2020 due to the COVID-19 pandemic, the activity was resumed at the beginning of 2021 with the installation of new detectors. Observations were carried out in April, July and August with these detectors.

The image above shows a map of the Moon, in focal plane coordinates, detected by the 26 pixels installed in the focal plane. Subsequently, the instrument was disassembled, and in December 2021, a new set of detectors developed at the Netherlands Institute for Space Research (SRON) was installed. In parallel, progress was made in implementing the necessary modifications to comply with safety standards in such a way that the telescope can now be operated remotely.

Also, within the framework of this project, an IR camera developed in Korea was installed to monitor the spatial distribution of clouds, and progress was made in preparing the installation in 2022 of a radiometer to measure precipitable water vapour.



Mapa de la Luna, en coordenadas del plano focal, detectada por 26 detectores de GroundBIRD.

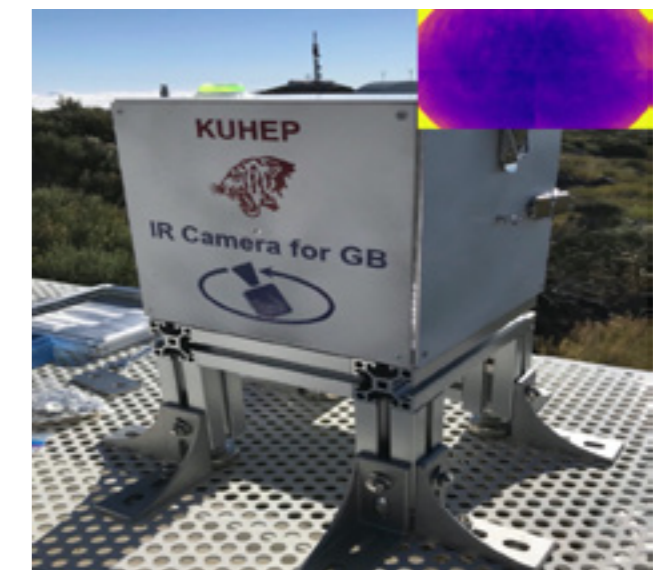
A map of the Moon, in focal plane coordinates, as detected by the 26 pixels.

GroundBIRD es un telescopio dedicado a la observación de la polarización del fondo cósmico de microondas a 150 y 220 GHz con el objetivo de detectar la señal conocida como «modos B» asociada a la inflación del universo primordial, que debió ocurrir justo después del Big Bang.

La descripción del alcance científico de este proyecto se presentó en un artículo publicado en 2021. El telescopio se instaló en el Observatorio del Teide en 2019. Tras una ralentización de las actividades durante 2020 como consecuencia de la pandemia del COVID-19, a principios de 2021 se instaló un nuevo conjunto de detectores. Con ellos se realizaron observaciones en abril, julio y agosto.

La figura superior muestra un mapa de la Luna, proyectado en coordenadas del plano focal, vista por 26 de los detectores instalados en el plano focal. Posteriormente, el instrumento fue desmontado en diciembre de 2021 para proceder a la instalación de un nuevo conjunto de detectores desarrollados en el SRON (Netherlands Institute for Space Research). En paralelo se implementaron algunas modificaciones necesarias para cumplir con la normativa de seguridad, de forma que el telescopio se puede operar ahora de forma remota.

Asimismo, dentro del marco de este proyecto, se instaló en el Observatorio del Teide una cámara infrarroja dedicada a la monitorización de nubes, desarrollada por colaboradores de la Universidad de Corea, y se realizaron tareas relacionadas con la preparación para la instalación en 2022 de un radiómetro dedicado a la medida de vapor de agua atmosférico.



Cámara infrarroja para monitorizar la distribución espacial de nubes. En el recuadro interior se muestra una imagen obtenida con esta cámara con cielo algo nublado.

IR camera installed to monitor the spatial distribution of clouds with the obtained image on a slightly cloudy day (inset).

Progreso en el Observatorio de las Cumbres Progress at Las Cumbres Observatory

Tras un retraso de un año debido a la pandemia mundial, en junio de 2021 se instalaron dos nuevos telescopios de 1 m en el Observatorio del Teide.

Los telescopios se enviaron desde la sede del Observatorio de Las Cumbres en Goleta, California, en abril, y el personal del LCO viajó al Observatorio del Teide en junio para la instalación.

Son el duodécimo y decimotercer telescopios de 1 metro añadidos a la red global de telescopios del Observatorio de Las Cumbres. Se suman a los dos telescopios LCO de 0,4 metros instalados en el Teide en 2015.

Las operaciones científicas preliminares comenzaron en julio y las operaciones científicas plenas, en octubre. Estos telescopios duplican la capacidad de captación de imagen con telescopios de 1 metro de la red de LCO en el hemisferio norte.

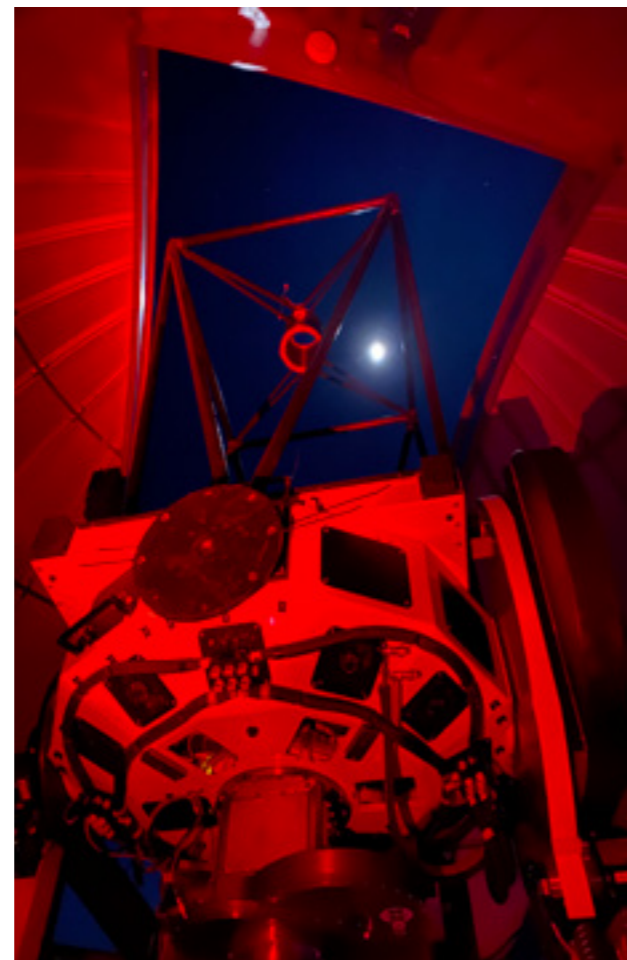
La planificación y las operaciones de la red LCO son totalmente robóticas. En cuanto los nuevos telescopios del Teide estuvieron disponibles para su uso científico, sus programas se llenaron inmediatamente. Sigue habiendo una gran demanda de observaciones de imágenes con telescopios de 1 metro en el hemisferio norte; los dos instrumentos del LCO en el Teide están observando todas las noches disponibles.

After a delay of one year due to the global pandemic, two new 1-meter telescopes were installed at Teide Observatory in June 2021.

In April, the telescopes were shipped from Las Cumbres Observatory headquarters in Goleta, California, and LCO staff travelled to Teide Observatory in June for the installation. These are the twelfth and thirteenth 1-meter telescopes added to the Las Cumbres Observatory global telescope network. They joined the two LCO 0.4-meter telescopes installed at Teide in 2015.

Early science operations started in July, and full science operations began in October. These telescopes double the 1-meter imaging capacity of LCO's network in the northern hemisphere.

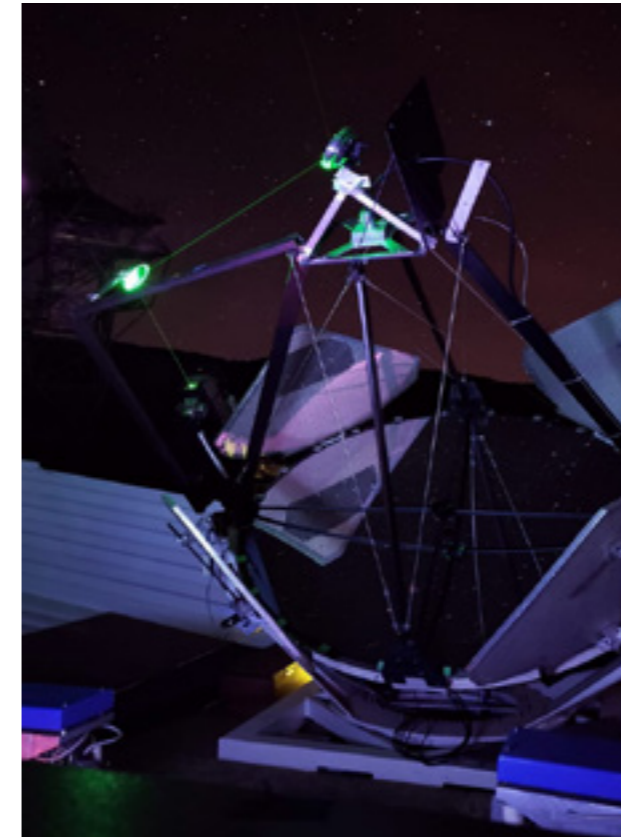
Scheduling and operations of the LCO network are fully robotic. As soon as the new Teide telescopes were made available for science, the schedules filled immediately. There continues to be substantial demand for northern hemisphere 1-meter imaging observations, and the LCO Teide 1-meter telescopes are busy observing on every available night.



Vista nocturna de los nuevos telescopios de 1 metro en el Observatorio del Teide en junio de 2021

A night view of a new 1-meter telescope at Teide Observatory in June 2021

El lídar Raman de Barcelona The Barcelona Raman LIDAR



El lídar Raman de Barcelona operando dentro del área del LST-1 en el emplazamiento del CTAO-Norte.

The Barcelona Raman LIDAR operating inside the LST-1 area in the CTAO-North site.

El lídar Raman de Barcelona (BRL por sus siglas en inglés) es un pionero de la instrumentación de monitorización atmosférica para el CTAO, desarrollado por un pequeño consorcio formado por el IFAE, el IEEC-CERES de la UAB (Instituto de Estudios Espaciales de Cataluña - Centro de Estudios e Investigación Espacial) en Barcelona, la Universidad de Padua (Italia) y la Universidad de Nova Gorica (Eslovenia). El objetivo del instrumento es medir el perfil molecular y el perfil de aerosoles de la atmósfera en el rango relevante para el desarrollo de las lluvias de partículas que detectan los telescopios del CTAO.

Este instrumento, mostrado en la figura, permitirá reducir las incertidumbres sistemáticas de las observaciones del CTAO, especialmente en la reconstrucción de las energías de los fotones. En 2021, el BRL, instalado en el emplazamiento del CTAO Norte, funcionó mensualmente en períodos crepusculares en torno a la luna llena. Se probó con éxito la posibilidad de realizar observaciones remotas y semirremotas con el BRL con una intervención mínima de personal in situ. Por último, durante la erupción del volcán de Cumbre Vieja, las observaciones con el BRL permitieron detectar el penacho de ceniza volcánica sobre el ORM. La ratio del lídar y los coeficientes Ångström medidos determinaron que el penacho estaba formado por partículas de gran diámetro, típicas de estos eventos.

The Barcelona Raman LIDAR (BRL) is a pathfinder of the atmospheric monitoring instrumentation for the CTAO, developed by a small consortium formed by IFAE, UAB IEEC-CERES (Institute of Space Studies of Catalonia - Center of Space Studies and Research) in Barcelona, the University of Padua (Italy) and the University of Nova Gorica (Slovenia). The instrument aims to measure the molecular profile and the aerosol profile of the atmosphere in the range relevant for developing the particle showers detected by the CTAO telescopes.

This instrument, shown in the figure, will allow reducing the systematic uncertainties of the CTAO observations, particularly in the reconstruction of the photon energies. In 2021 the BRL, installed in the CTAO North site, was operated monthly, on twilight periods around the full moon. The possibility of performing remote and semi-remote observations with the BRL, with minimal intervention of on-site personnel, was successfully tested. Finally, during the Cumbre Vieja volcano eruption, the observations with the BRL allowed the detection of the volcanic ash plume over the ORM. The measured LIDAR ratio and Ångström coefficients determined that the plume was made of particles with large diameters, typical for these events

Progreso del LST Progress of the LST

En junio de 2021, la Junta de Gobierno de Representantes (BGR) alcanzó un hito importante para la Red de Telescopios Cherenkov Telescope Array (CTA). Aprobaron el documento de costes y la descripción científica y técnica del Observatorio CTA (CTAO), que describe la configuración de la CTA en los emplazamientos del norte y del sur, denominada «Configuración Alfa». El emplazamiento norte incluye cuatro telescopios de gran tamaño (LST) y nueve telescopios de tamaño medio (MST). El emplazamiento sur incluye 14 MST y 37 telescopios de pequeño tamaño (SST).

El prototipo del Telescopio de Gran Tamaño (LST-1) se inauguró en octubre de 2018 y, desde entonces, realiza observaciones periódicas de diversas fuentes astrofísicas. Su fase de puesta en marcha, aún no concluida oficialmente, se ha visto obstaculizada por las dificultades originadas por la pandemia de COVID-19 y la erupción del volcán de Cumbre Vieja, que impidieron el funcionamiento del telescopio durante casi cuatro meses. Un examen minucioso del funcionamiento del telescopio después de la erupción no reveló ningún daño en el telescopio, y el LST-1 reanudó rápidamente sus operaciones a principios de 2022.

La construcción de los tres LST restantes ha avanzado sin pausa. La cámara del LST-2 empezó a integrarse y a probarse en el IFAE en noviembre de 2021 y se espera que esté terminada en marzo de 2022. Se prevé enviar las cámaras de los LST-3 y LST-4 antes de marzo de 2023. Los demás componentes, como espejos, raíles y bogies, y la estructura del telescopio, están siendo fabricados por empresas privadas con la misma rapidez.

In June 2021, the Board of Governmental Representatives (BGR) reached a significant milestone for the Cherenkov Telescope Array (CTA). They approved the CTA Observatory's (CTAO) Cost Book and Scientific and Technical Description, which describes the configuration of CTA at the Northern and Southern sites called the "Alpha Configuration". The Northern site includes four Large Size Telescopes (LSTs) and nine Medium Size Telescopes (MSTs). The Southern site includes 14 MSTs and 37 Small Size Telescopes (SSTs).

The prototype for the Large Size Telescope (LST-1) was inaugurated in October 2018 and since then has been performing regular observations of various astrophysical sources. Its commissioning phase, not yet officially completed, has been hampered by difficulties originated by the COVID-19 Pandemic and the eruption of the Cumbre Vieja Volcano, which prevented operations of the telescope for nearly four months. Careful examination of the telescope's performance after the Cumbre Vieja Volcano revealed no damage to the telescope whatsoever, and LST-1 quickly resumed operations in early 2022.

The construction of the remaining three LSTs has progressed steadily. The camera for the LST-2 started integration and testing in IFAE in November 2021 and is expected to be completed as soon as March 2022. The cameras for the LST-3 and LST-4 are expected to be shipped before March 2023. The other components, such as mirrors, rails & bogies, and telescope structure, are being completed by private companies similarly fast.

Mercator: aspectos tecnológicos destacados Mercator: technological highlights

2021 fue de nuevo un año difícil para todo el observatorio en cuanto a las operaciones. La pandemia impidió a muchos observadores viajar y la erupción volcánica tuvo un gran impacto en los últimos meses del año. El telescopio Mercator no fue una excepción. La observación a distancia (véase el Informe Anual 2020 del CCI) se utilizó con frecuencia a lo largo de 2021, pero los observadores se desplazaron a La Palma cuando fue posible. Durante la erupción volcánica, se aplicaron condiciones de apertura muy estrictas. El telescopio solo pudo abrir durante un número muy limitado de noches. Se organizó la escuela de observación de Mercator, pero utilizando el sistema de control remoto de la universidad de Lovaina.

El espectrógrafo HERMES ha seguido siendo el caballo de batalla del telescopio Mercator durante 2021. Sin prácticamente parones técnicos, un excelente rendimiento y una eficiente línea de reducción de datos, los observadores salen de la montaña con espectros reducidos de alta resolución de calidad científica. Nos estamos preparando para instalar un nuevo sistema de calibración en el transcurso de 2022.

Prosiguió la actualización del sistema informático y se llevó a cabo una misión técnica a finales de 2021 para sustituir servidores y ordenadores. Todo el sistema de control de Mercator se actualizó correspondientemente.

También se iniciaron los trámites para la obtención del permiso de construcción del espectrógrafo MARVEL. El instrumento se instalará en los próximos años junto al telescopio Mercator.

In terms of operations, 2021 was again a challenging year for the whole observatory. The pandemic prevented many observers from travelling, and the final months of the year were strongly affected by the volcanic outburst. The Mercator telescope was no exception. The remote observing (see CCI Annual Report 2020) was extensively used throughout 2021, but observers did travel to La Palma when possible. During the volcanic outburst, very strict opening conditions were applied, and the telescope could open only for a very limited amount of nights. The Mercator observing school was organised, but using the remote control set-up from the Leuven University.

In 2021 the HERMES spectrograph remained the workhorse instrument of the Mercator telescope. With virtually no technical downtime, excellent throughput and an efficient data reduction pipeline, the observers leave the mountain with science-grade reduced high-resolution spectra. The preparation for installing a new calibration system in the course of 2022 is ongoing.

The upgrade of the IT system continued and performed a technical mission at the end of 2021 to replace servers and computers. The whole Mercator control system was upgraded accordingly.

The building permit procedure for the MARVEL spectrograph was also started. The instrument will be installed in the coming years next to the Mercator telescope.



Panorámica del ORM
ORM panorámic

Sistema receptor adaptativo Cassegrain para el telescopio de 1 m de la ESA

Cassegrain Adaptive Receiver System for ESA 1 m Telescope

La Estación Óptica Terrestre (OGS) de la ESA, situada en el Observatorio del Teide, se diseñó inicialmente para comprobar y poner a prueba en órbita la carga útil de comunicación láser instalada en la nave espacial ARTEMIS, en órbita geoestacionaria. La OGS está equipada con un telescopio Zeiss de 1 m con montura inglesa. El telescopio puede funcionar en configuración Ritchey-Chretien o Coudé.

Hasta ahora, la OGS de la ESA solo podía utilizarse como respaldo de la comprobación en órbita dentro de las actividades de comunicación óptica coherente en el espacio libre (FSO). El diámetro de su telescopio de 1 m es significativamente mayor que la distorsión típica introducida por la atmósfera (parámetro Fried) en su ubicación de Izaña. Para superar esta limitación, se ha iniciado una actividad de actualización para que la OGS de la ESA pueda en el futuro establecer también enlaces de comunicación óptica coherente FSO con satélites GEO y LEO en la banda de 1064 nm o 1550 nm, respectivamente.

Lo que impulsa el uso de un sistema óptico adaptativo en una estación óptica terrestre es aumentar la apertura utilizable del receptor de la OGS, es decir, la antena óptica RX (receptor), más allá del tamaño del parámetro Fried, porque solo entonces es factible acoplar eficazmente la luz recibida en una fibra RX monomodo. Por este motivo, es mejor usar un sistema RX-AO en una OGS junto con receptores coherentes o, si no, receptores incoherentes que aprovechan la preamplificación óptica.

Para la corrección del frente de onda entrante, se aplican dos actuadores en un sistema RX-AO:

- un espejo de dirección rápida para corregir los errores de inclinación, es decir, para corregir el movimiento de la imagen, y
- un espejo deformable (DM) para corregir las aberraciones de alto orden restantes.

El Sistema Receptor Adaptativo Cassegrain (CARO, por sus siglas en inglés), recientemente instalado es un sistema de óptica adaptativa para uso estacionario que corregirá en el telescopio de la ESA-OGS el frente de onda óptico recibido para que pueda acoplarse a una fibra óptica monomodo. Por lo tanto, el sistema CARO está diseñado para captar un punto de enfoque Cassegrain primario borroso en su puerto de entrada del telescopio de la OGS. La luz recibida

The ESA Optical ground Station (OGS) located at the Observatorio del Teide was initially designed for in-orbit check-out and testing of the laser communication payload embarked on the ARTEMIS spacecraft in geostationary orbit. The OGS is equipped with an English-mounted 1 m Zeiss telescope. The telescope can be operated in either a Ritchey-Chretien or a Coudé configuration.

The ESA OGS could so far only be used for support of in-orbit check-out in the context of coherent free-space optical (FSO) communication activities. Its 1 m telescope diameter is significantly larger than the typical distortion introduced by the atmosphere (Fried parameter) at its Izaña site. In order to overcome this limitation, an upgrade activity has been initiated so that the ESA OGS can in the future also establish coherent optical FSO communication links with GEO as well as with LEO satellites in the 1064 nm or 1550 nm band, respectively.

The driver behind the use of an adaptive optical system in an optical ground station is to increase the usable OGS receiver aperture, i.e. the optical RX (receiver) antenna, beyond the size of the Fried parameter because only then does it become feasible to couple efficiently the received light into a single-mode RX-fiber. For this reason, an RX-AO system is best used in an OGS in conjunction with either coherent receivers or, alternatively, incoherent receivers that exploit optical pre-amplification.

For the correction of the incoming wavefront, two actuators are applied in an RX-AO system:

- a fast-steering mirror for correction of tip-tilt errors, i.e. for correction of image motion, and
- a deformable mirror (DM) for correcting remaining higher-order aberrations.

The recently installed Cassegrain Adaptive Receiver System (CARO) is an adaptive optics system for stationary usage, which shall correct in the ESA-OGS telescope the received optical wavefront so that it can be coupled into a single-mode optical fibre. Therefore, the CARO system is designed to pick up a blurred primary Cassegrain focus spot at its entrance port from the OGS telescope. The received light is delivered at the CARO exit port by a polarization-maintaining single-mode fibre.

se entrega en el puerto de salida del CARO mediante una fibra monomodo que mantiene la polarización.

El diseño del sistema se realiza de forma que el CARO consigue una ratio Strehl de 0,6 a un valor r_0 de 5 cm ($\lambda = 1064$ nm). La velocidad máxima operativa especificada para el viento en tierra es de 50 km/h.

El sistema CARO está diseñado para integrarse en el sistema global de la OGS durante las conexiones satélite-tierra. La primera figura muestra de forma esquemática cómo se integra el CARO en el sistema de la OGS de la ESA.

El sistema se controla remotamente con un panel de control. Todas las actividades internas del CARO se gestionan mediante su sistema de control sin necesidad de más interacción con el operador, lo que reduce estas al mínimo necesario.

El CARO comprende todos los elementos de la primera figura, excepto el panel de control. El software del panel de control se encuentra en el sistema informático de control de la ESA-OGS. La unidad CARO puede fijarse al extremo posterior del tubo del telescopio de la OGS en la placa de la brida del telescopio (véase la segunda figura). El CARO se sometió a una exitosa campaña de pruebas de aceptación en otoño de 2021.

The system design is made so that CARO achieves a Strehl ratio of 0.6 at an r_0 -value of 5 cm ($\lambda = 1064$ nm). The maximum specified operational ground wind speed is 50 km/h.

The CARO system is designed to be embedded into the overall OGS system during satellite-to-ground links. The first figure shows schematically how CARO is embedded into the ESA OGS system.

The system is completely remote-controlled via a control panel. All CARO-internal activities are handled by the CARO control system without further interaction with the operator, reducing the interactions between operator and CARO to the required minimum.

CARO comprises all the elements from the first figure, except the control panel. The control panel software is located in the ESA OGS control computer system. The CARO unit can be attached to the backend of the OGS telescope tube at the telescope flange plate (see second figure). CARO underwent a successful acceptance test campaign in autumn 2021.

El CARO montado en el extremo posterior del telescopio de 1 m de la ESA.
CARO mounted to the backend of the ESA 1 m telescope.



El telescopio en línea de Slooh

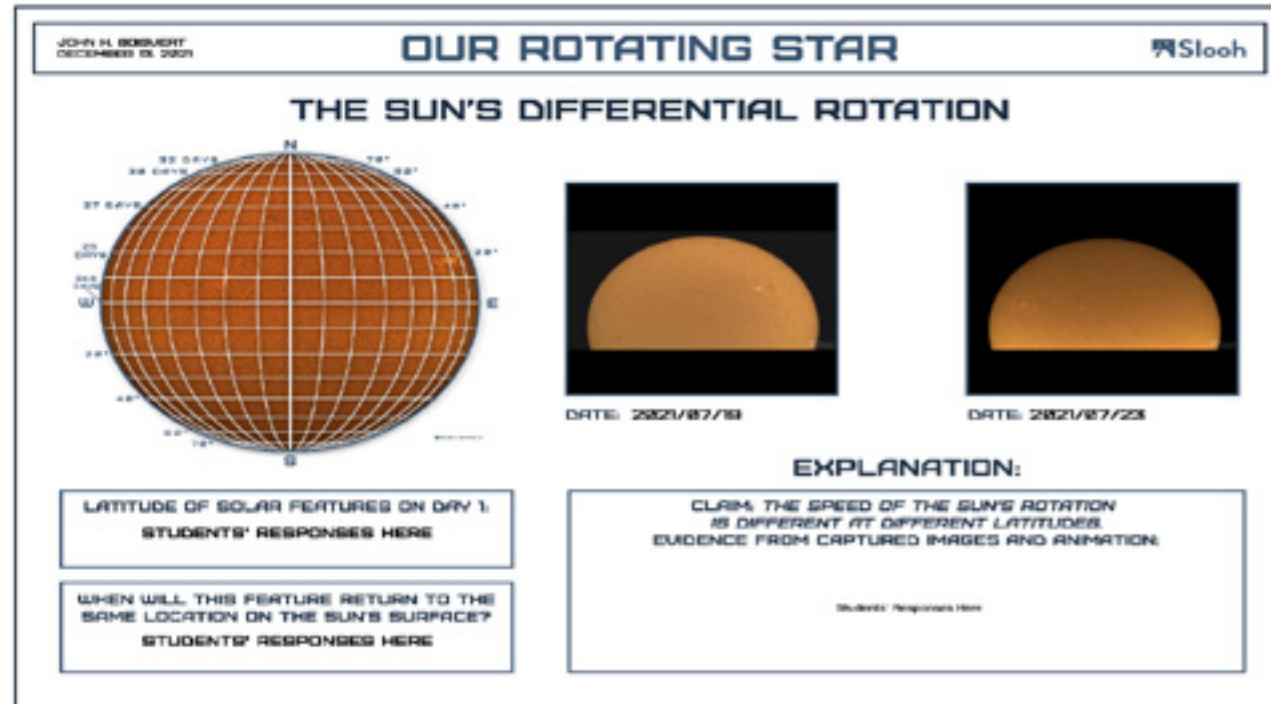
The online telescope at Slooh

Las actividades de Slooh en 2021 se centraron en llevar la astronomía en vivo a las aulas de todo el mundo. El lanzamiento de la Beca de Exploración Espacial de Slooh llevó la plataforma a centros educativos estadounidenses subvencionados y a estudiantes que, de otro modo, no tendrían acceso a la educación astronómica. En palabras del fundador de Slooh, Michael Paolucci, «No enseñarías biología sin un microscopio; ¿por qué enseñar sobre el espacio sin un telescopio?».

El equipo educativo de Slooh desarrolló en 2021 más de cincuenta actividades de aprendizaje interactivas en las que los alumnos captan imágenes de los telescopios activos en Izaña y en Chile mientras aprenden conceptos y fenómenos astronómicos. Cada «misión» culmina con un informe y una infografía que los profesores utilizan para la evaluación.

Slooh's activities in 2021 were dominated by their focus on bringing live astronomy into classrooms worldwide. The launch of Slooh's Space Exploration Grant took the platform into Title 1 schools and to students who would otherwise have no access to any form of astronomy education. Slooh's founder, Michael Paolucci, said, "You wouldn't teach Biology without a microscope; why teach about space without a telescope?"

Slooh's education team developed over fifty interactive learning activities in 2021 where students capture images from the live telescopes at Izaña and in Chile while learning about astronomical concepts and phenomena. Each "quest" culminates in a report and infographic that teachers use for assessment.



Todas las actividades de aprendizaje de Slooh (misiones) incluyen el uso de los telescopios en el OT para adquirir datos. En este ejemplo, el telescopio solar. Al final de las misiones se generan pósters, infografías y GIF animados de lapso de tiempo.

Slooh's learning activities (Quests) all include using the telescopes at the OT to acquire data – In this example, the Solar telescope. Posters, infographics, and animated time-lapse GIFs are generated at the end of quests.

El contenido de Slooh abarca los niveles de primaria, secundaria, bachillerato y universidad, y está diseñado para interesar a los estudiantes en la astronomía y sus vínculos culturales e históricos, así como en el arte y la literatura.

Spanning elementary, middle, high school and college grades, Slooh's content is designed to engage students in the science of astronomy and its cultural and historical links, as well as art and literature.

Varios miembros han superado el programa de formación de Slooh para el seguimiento de objetos cercanos a la Tierra en 2021. Los centros han presentado casi 10 000 propuestas de planetas menores.

Several members have graduated from Slooh's Near-Earth Object tracking training programme in 2021. Members have made nearly 10 000 minor planet centre submissions.

Los estudiantes capturaron 578 646 imágenes FITS en 2021.

Students captured 578 646 FITS images in 2021.

Slooh lanzó su Programa de Desarrollo Profesional para docentes en 2021. Organizado por docentes profesionales, que han utilizado la plataforma en sus cursos en todos los niveles de enseñanza, los profesores aprenden de sus compañeros cómo enseñar astronomía en sus clases utilizando las misiones incluidas en el plan de estudios.

Slooh launched its educators' Professional Development Program in 2021. Hosted by professional educators, who have used the platform in their courses at all grade levels, teachers learn from their peers how to teach astronomy in their classes using the curriculum-linked Quests.

Mientras Slooh amplía su plataforma educativa, en 2022 se instalará un segundo telescopio de medio metro en el Observatorio del Teide (OT) y se introducirán nuevas capacidades, como la espectroscopia y la fotometría de baja resolución.

As Slooh expands its educational platform, 2022 will see the installation of a second half-metre telescope at the Observatorio del Teide (OT) and introduce new capabilities such as low-resolution spectroscopy and photometry.



Las infografías de las misiones incorporan las imágenes que los estudiantes han captado de las transmisiones en directo del telescopio y las respuestas que han escrito durante estas.

Quest infographics incorporate the images students have captured from the live telescope feeds and the answers they have written during the Quest.

Nueva plataforma de mantenimiento para el GTC

GTC's new maintenance platform

La nueva plataforma de mantenimiento, Plataforma de Media Luna (HMP, por sus siglas en inglés) se instaló en el GTC en diciembre de 2021.

Esta plataforma es necesaria para dar servicio indistintamente a la estación focal Cassegrain y a los focos Folded Cassegrain. Es esencial para poder operar el instrumento OSIRIS en su nueva ubicación en el telescopio en 2022.

La instalación de esta plataforma supuso un enorme esfuerzo económico y humano por parte tanto de GRANTECAN como de la compañía española MECÁNICAS BOLEA, contratada para ejecutar el proyecto.

Todos los trabajos necesarios para la construcción de este complejo subsistema se realizaron durante la erupción volcánica, aprovechando así este parón inesperado en la operación del telescopio.



A new maintenance platform, Half Moon Platform (HMP), was installed on the GTC in December 2021.

This platform is required to serve simultaneously the Cassegrain focal station and the Folded Cass foci. It is essential for operating the OSIRIS instrument at its new location at the telescope in 2022.

The installation of this platform has required a great economic and human effort by GRANTECAN and the Spanish company MECÁNICAS BOLEA, contracted to complete the project.

All the works needed for constructing this complex subsystem were done during the volcano eruption, taking advantage of this unexpected stand-down for the telescope.



Nueva plataforma de mantenimiento para el GTC e imágenes de su instalación. Dará servicio a los focos Folded Cassegrain (izquierda) y a la estación focal Cassegrain (derecha).

The new maintenance platform for the GTC and photos of its installation. It will serve the folded Cassegrain foci (left) and the Cassegrain focal station (right).

Baile de instrumentos en el GTC durante 2021

GTC instrument dance in 2021

2021 fue un año muy intenso en el GTC en lo que concierne al plan instrumental del telescopio. Se montaron o desmontaron cuatro instrumentos, con toda la complejidad que conlleva este tipo de operaciones.

La cámara en el infrarrojo medio CanariCam se retiró en febrero de la estación focal Folded Cass-E para liberar y preparar este foco para el siguiente instrumento de nueva generación, MIRADAS. CanariCam operó inicialmente en un foco Nasmyth hasta 2016, cuando se actualizó y reubicó en el foco Folded Cass-E, donde ha estado operando desde septiembre de 2019.

Una vez puesta fuera de servicio, CanariCam permanecerá almacenada de forma segura en el GTC, disponible para explotar nuevas sinergias que surjan en el futuro con otros telescopios terrestres o misiones espaciales.

Dado que el instrumento MIRADAS se recibirá en 2022, la estación focal liberada se ocupó temporalmente con la cámara rápida HiPERCAM, hasta su retirada en septiembre. Este instrumento visitante, muy exitoso, se reutilizará próximamente y quedará instalado de forma permanente en una estación focal dedicada (Folded Cass-G) mediante un rotador específico que el equipo del instrumento está fabricando.

Finalmente, OSIRIS, el instrumento más demandado del GTC, se desmontó definitivamente de la estación focal Nasmyth-B en agosto, después de 12 años de una operación más que exitosa, a fin de prepararlo para su reinstalación en el foco Cassegrain a comienzos de 2022.

Este movimiento afectó de igual modo a HORuS, el espectrógrafo de fibras que se alimenta a través de OSIRIS y que finalizó su operación en el momento en el que este dejó de estar disponible.

Este intenso plan instrumental en el GTC continuará en 2022, cuando se espera la recepción de hasta tres instrumentos a largo del año, para así seguir cumpliendo con las exigentes demandas de la comunidad de usuarios del GTC.

2021 was a very intense year at the GTC concerning the instrumental plan of the telescope. Four instruments were installed and uninstalled, with all the complexity that such an operation implies.

The Canaricam mid-infrared camera was removed from folded Cass-E focal station in February to free up and prepare the focal station for the next-generation instrument, MIRADAS. CanariCam operated initially at a Nasmyth focus until 2016, when it was upgraded and reinstalled at the folded Cass-E focal station, where it has been operating since September 2019.

Once decommissioned, CanariCam will now be safely stored at the GTC, available to exploit any possible new synergies with other ground-based or space facilities in the future.

As the MIRADAS instrument will be received in 2022, the focal station was temporarily occupied by the fast imager and visitor instrument HiPERCAM until its removal in September. This very successful instrument will be re-used in the near future, installed permanently at a dedicated focal station (folded Cass-G) by using a specific instrument rotator that the instrument team is building.

Finally, OSIRIS, the most demanded instrument at the GTC, was removed from the Nasmyth-B focal station in August, after 12 years of very successful operation, to prepare it for its re-installation at the Cassegrain focal station in early 2022.

This movement also affected HORuS, the fibre spectrograph fed from OSIRIS, that finished its operation once OSIRIS was unavailable.

The challenging GTC instrumental plan will continue in 2022, when it is expected to receive up to three instruments throughout the year to fulfil the demanding requests from the GTC user community.

HeSP, un espectropolarímetro de campo integral para el helio 10830 Å

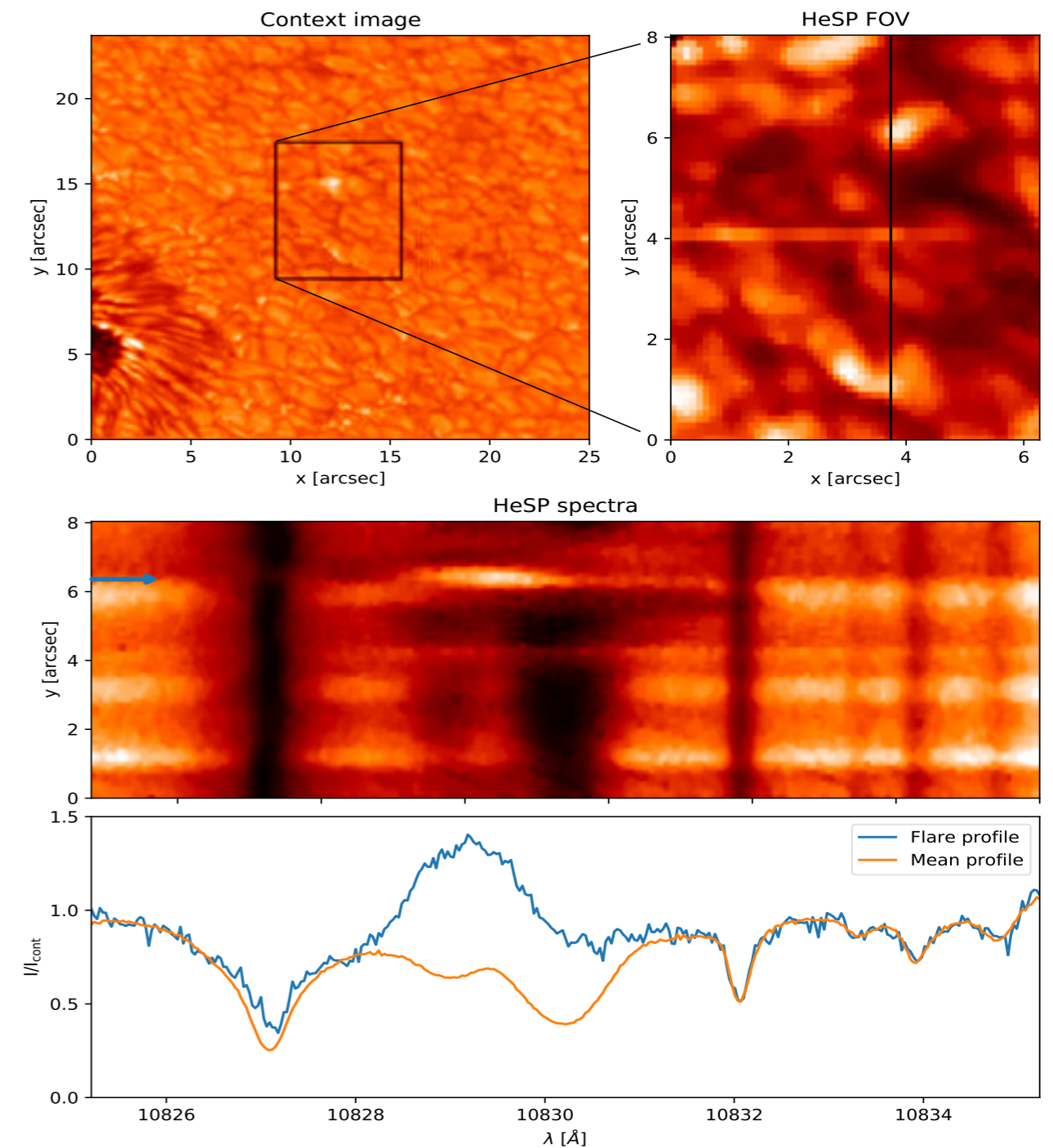
HeSP, an integral field spectropolarimeter for helium 10830 Å

En la primavera de 2021 se instaló en el Telescopio Solar Sueco de 1 m (SST) un nuevo instrumento, denominado Espectropolarímetro de Helio (HeSP), que actualmente se encuentra en fase de pruebas y calibración. El HeSP es un espectropolarímetro de campo integral basado en microlentes que observa la línea de He I 10830 en el límite de difracción del telescopio con una resolución temporal suficiente como para captar los rápidos procesos que tienen lugar en la cromosfera superior del Sol.

El panel superior izquierdo de la figura muestra una imagen de contexto del continuo, similar a la imagen de la rendija en un espectrógrafo tradicional. El instrumento registra simultáneamente el espectro completo en los cuatro parámetros de Stokes con una cadencia de 4 s para cada píxel dentro del rectángulo negro. El espectro de ejemplo muestra emisión en la línea He I 10830 en la base de una pequeña erupción. Una próxima línea de datos combinará grandes conjuntos de datos brutos como estos para generar productos de datos calibrados y de seeing compensado.

A new instrument for the 1 m Swedish Solar Telescope (SST), called Helium SpectroPolarimeter (HeSP), was installed at the SST in the spring of 2021 and is currently undergoing testing and calibration. HeSP is an integral field imaging spectropolarimeter based on microlenses that observes the He I 10830 line at the diffraction limit of the telescope with sufficient time resolution to catch the fast processes occurring in the upper chromosphere of the Sun.

The upper left panel of the figure shows a continuum context image, similar to the slit-jaw image in a traditional spectrograph. For each pixel inside the black rectangle, the instrument simultaneously records the full spectrum in all four Stokes parameters at a cadence of 4 s. The example spectrum shows emission in the He I 10830 line at a footpoint of a small flare. A forthcoming data pipeline will combine large sets of raw data like these into calibrated, seeing-compensated data products.



Muestra de los datos brutos de las observaciones del HeSP. Arriba, izquierda: imagen de contexto con el FoV del espectrógrafo marcado. Arriba, derecha: campo de visión completo de un punto espectral. Centro: espectro correspondiente a la línea negra del recuadro superior derecho. Abajo: espectro de un único píxel correspondiente a la flecha azul del recuadro central.

Sample raw HeSP observations data. Upper left: context image with the FOV of the spectrograph marked. Upper right: full field of view of one spectral point. Centre: spectrum corresponding to the black line in the upper right tile. Bottom: Spectrum of a single pixel corresponding to the blue arrow in the centre tile.

Emisión pulsada óptica y ultravioleta de un púlsar acretante de milisegundos

Optical and ultraviolet pulsed emission from an accreting millisecond pulsar

El TNG se aproxima a la vanguardia de la astronomía de dominio temporal gracias a las capacidades únicas del SiFAP2, un fotómetro y polarímetro basado en el silicio capaz de etiquetar en el tiempo fotones individuales con una resolución temporal de 8 ns y con una precisión absoluta superior a 60 μ s. El desarrollo de este instrumento corrió a cargo de la Universidad de La Sapienza, en Roma, y lo mejoró un equipo, dirigido por el personal del FGG, que incluye a la Universidad de Catania y al Observatorio de Roma. Ahora puede instalarse como instrumento visitante en el foco Nasmyth A.

El SiFAP2 está instalado en el foco directo F/11 en la interfaz Nasmyth.

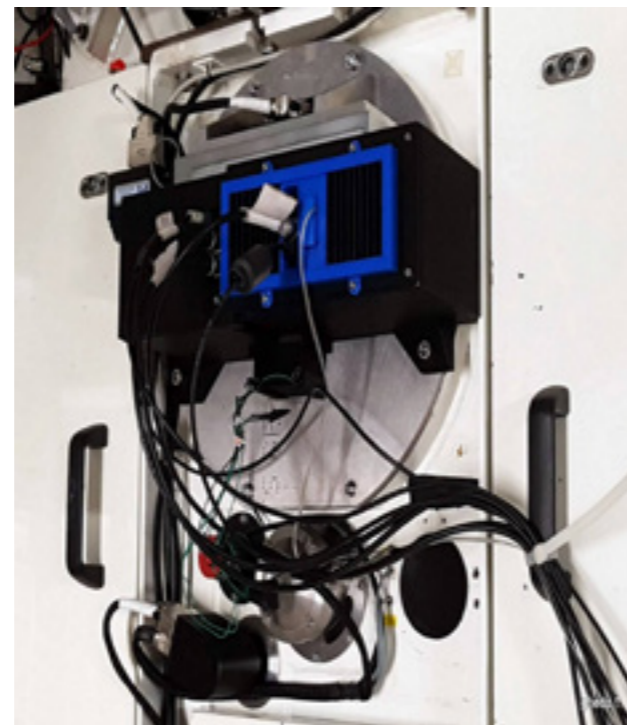
SiFAP2 is mounted at the F/11 direct focus on the Nasmyth Interface.

En 2020 se pusieron a prueba sus capacidades mediante la observación de SAX J1808.4-3658, un púlsar de milisegundos en un sistema binario de rayos X, durante una fase de acreción. Se descubrió en 1996 como el primer sistema binario de rayos X en albergar un púlsar de milisegundos acretante, una estrella de neutrones que gira cientos de veces por segundo. Cada 3-4 años, experimenta fases de estallido (nueve desde su descubrimiento), durante las que su luminosidad aumenta varios órdenes de magnitud y el sistema entra en una fase de acreción. Gracias a la masa y al momento angular transferidos desde el disco de acreción, el púlsar se acelera y gira con una frecuencia de ~ 401 Hz (período de 2,5 ms), generando pulsaciones en la banda X. Los astrónomos usaron el SiFAP2 para detectar las pulsaciones del púlsar de ms en la banda visible. Hacia el final del estallido, también detectaron las pulsaciones en longitudes de onda ultravioleta con el fotómetro STIS/MAMA instalado en el telescopio espacial Hubble.

Los modelos de acreción actuales no explican la luminosidad en las emisiones pulsantes visibles y ultravioletas, que se supone que proceden de procesos en la magnetosfera de la estrella de neutrones. La creencia generalizada era que la densidad de carga de la materia en acreción detendría la aceleración de las partículas de la magnetosfera.

El estudio muestra que la interacción de la materia en acreción con la magnetosfera permite que se produzcan emisiones pulsadas de rayos X, visibles y de UV, y que los mecanismos impulsados por la rotación y por la acreción no se excluyen mutuamente.

The TNG is approaching the forefront of time-domain astronomy thanks to the unique capabilities of SiFAP2, a silicon-based photometer and polarimeter able to time-tag single photons with a time resolution of 8 ns and with an absolute accuracy better than 60 μ s. This instrument was developed by the University of La Sapienza, Rome and improved by a team led by the FGG staff, including Catania University and Rome Observatory. It can now be mounted as visiting instrument at the Nasmyth A focus.



In 2020 its capabilities were tested by observing SAX J1808.4-3658, a millisecond pulsar in an X-ray binary system monitored during an accretion phase. It was discovered in 1996 as the first X-ray binary system hosting an accreting millisecond pulsar, a neutron star spinning hundreds of times per second. Every 3-4 years, it experiences outburst phases (nine since its discovery), during which its luminosity increases by several orders of magnitude and the system enters an accreting phase. Thanks to the mass and angular momentum transferred from the accretion disc, the pulsar is accelerated and rotates with a frequency of ~ 401 Hz (2.5 ms period), generating pulsations in the X band. Using SiFAP2, astronomers were able to detect the pulsations of the ms-pulsar in the visible band. Towards the end of the burst, they also detected the pulsations at UV wavelengths using the STIS/MAMA photometer mounted on the Hubble Space Telescope.

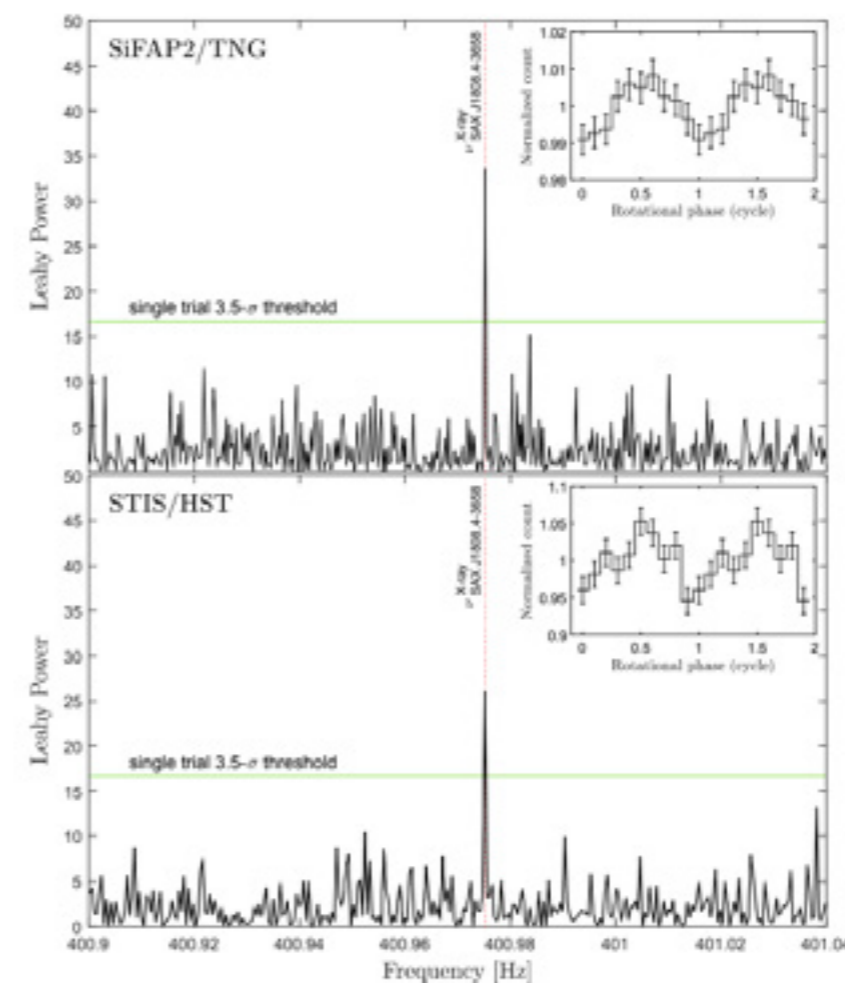
Lo que también es digno de mención es que las pulsaciones visibles están desfasadas casi medio periodo con las pulsaciones X, como si se produjeran en polos opuestos de la estrella de neutrones.

Se puede afirmar con certeza que el dominio temporal al que accede SiFAP2 abrirá una nueva ventana en el ámbito de astronomía multimensajero.

Current accretion models fail to account for the luminosity in the visible and ultraviolet pulsed emissions, which are supposed to be driven by processes in the magnetosphere of the neutron star. It was widely believed that the charge density of accreting matter would shut off the acceleration of particles from the magnetosphere. The study shows that the interaction of accreting matter with the magnetosphere allows for X-ray, visible and UV pulsed emissions and that the rotation-powered and accretion-powered mechanisms are not mutually exclusive.

What is also worth noticing is that the visible pulsations are nearly a half period off-phase with the X pulsations, as if they were produced at opposite poles of the neutron star.

It is firmly believed that the time domain accessible to SiFAP2 will open a new window in the domain of multiwavelength messenger astronomy.



Detección y forma de las señales ópticas y ultravioletas coherentes de SAX J1808.4-3658. Panel superior: espectro de densidad de potencia de Fourier de la curva de luz óptica (320-900 nm) de la observación de 3,3 ks realizada con el fotómetro SiFAP2. Panel inferior: espectro de densidad de potencia de Fourier en el mismo rango de frecuencias a partir de la curva de luz en el ultravioleta (165-310 nm) recogida con el STIS a bordo del telescopio espacial Hubble. Los recuadros muestran los perfiles de pulso normalizados y sustraídos del fondo, obtenidos al plegar las curvas de luz óptica y UV con el período de rayos X.

Detection and shape of coherent optical and ultraviolet signals from SAX J1808.4-3658. Upper panel: Fourier power density spectrum of the optical (320-900 nm) light curve from the 3.3 ks observation carried out with the SiFAP2 photometer. Lower panel: Fourier power density spectrum over the same frequency range from the ultraviolet (165-310 nm) light curve collected with STIS on board of HST. The insets show the background-subtracted, normalised pulse profiles obtained by folding the optical and UV light curves with the X-ray period.

Mejoras en los telescopios de Warwick Upgrades in the Warwick Telescopes

El GoTo se ha sometido a una importante actualización durante el pasado año, sustituyendo el equipo original por una instrumentación mejorada, fabricada por Astro Systeme Austria (ASA). Además, ASA entregó e instaló el segundo instrumento para La Palma, con lo que las instalaciones del norte están prácticamente terminadas. Los dos sistemas septentrionales están siendo ajustados y puestos en marcha.

El rendimiento óptico de los telescopios ASA es superior al de las viejas unidades. La construcción de una instalación clónica en Siding Spring (Australia) se encuentra en sus primeras fases.

Warwick ha estado desarrollando y caracterizando detectores sCMOS para su uso en astronomía y también en vigilancia espacial. Esto ha hecho que el instrumento SuperWASP se actualice parcialmente con estos detectores.

También se pidió una montura robótica de repuesto y se espera que el nuevo sistema SuperWASP se instale en la pequeña cúpula del telescopio a finales de 2022. El telescopio de 1 m se aproxima a su disponibilidad operativa, que se espera alcanzar en el verano de 2022.

GoTo has undergone a significant upgrade during the past year with the original equipment being replaced by improved instrumentation manufactured by Astro Systeme Austria (ASA). In addition, ASA delivered and installed the second instrument for La Palma, making the Northern facility essentially complete. Both Northern systems are being shaken down and commissioned.

The optical performance of the ASA telescopes is superior to the old units. Construction of a clone facility at Siding Spring, Australia, is in the early stages.

Warwick has been developing and characterising sCMOS detectors for use in astronomy and also Space Domain Awareness. This has led to the SuperWASP instrument being partially upgraded with these detectors.

A replacement robotic mount has also been ordered, and the new SuperWASP system is expected to be installed in the telescope's small dome in late 2022. The 1 m telescope is nearing operational readiness—hopefully achieved in the summer of 2022.

Panorámica de los telescopios de Warwick con la erupción de Cumbre Vieja al fondo
Panoramic view of the Warwick telescopes with the Cumbre Vieja eruption in the background





**OCAN
Y SOCIEDAD**

**OCAN
& SOCIETY**

Eventos, divulgación y acción social en 2021 Events, outreach and social action in 2021

Que los Observatorios de Canarias (OCAN) tienen un impacto socioeconómico, tanto a nivel internacional como local, que va mucho más allá de sus resultados científicos es un hecho innegable. Son creadores de empleo directo e indirecto en las islas, un centro formativo de excelencia y un atractivo turístico y cultural. Su presencia en las islas atrae inversiones y capital humano de todo el planeta y pone a Canarias en el mapa científico mundial. Su imponente imagen se ha erigido en una de las señas de identidad de las islas que los albergan.

Por su ubicación cerca de parques nacionales y también por sus propios principios de responsabilidad corporativa, se han convertido en pioneros de la gestión y desarrollo ecosostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Estos mismos principios también impulsan políticas y programas ejemplares en el ámbito de la igualdad en el marco laboral y en el fomento del acceso de las mujeres a la formación y las profesiones científico-técnicas y de su actividad en áreas científicas de vanguardia.

That the Observatorios de Canarias (OCAN) have a socio-economic impact, both internationally and locally, that goes far beyond their scientific results is an undeniable fact. They are creators of direct and indirect employment opportunities in the islands, an excellence training centre and a tourist and cultural attraction. Their presence on the islands attracts investment and human capital from all over the world and puts the Canary Islands on the world scientific map. Their imposing image has become one of the hallmarks of the islands that host them.

Because of their location near national parks and also because of their own corporate responsibility principles, they have become pioneers of eco-sustainable and environmentally friendly management and development. These same principles also drive exemplary policies and programmes in the field of equality in the labour market and in promoting women's access to scientific and technical training and careers, as well as their activity in cutting-edge scientific areas.



*Inauguración del Centro de Visitantes del Roque de los Muchachos
Inauguration of the Roque de los Muchachos Visitor Centre*

Desde su fundación, el IAC y las instituciones colaboradoras con instalaciones en los observatorios hacen todo lo posible por no solo dar a conocer su actividad y el impacto que tiene esta para la sociedad, sino también por despertar el interés de las nuevas generaciones —y de las no tan nuevas— por la astronomía y la astrofísica.

Para ello desarrollan una intensa labor de comunicación, divulgación y acción social que se materializa, principalmente, a través de cinco vías.

- Visitas y actividades para colegios, estudiantes y público general con el fin de hacer más cercana y accesible la actividad de los OCAN y de fomentar entre los más pequeños la misma pasión por la ciencia que comparten los que trabajan en ellos.

- Divulgación a través de, entre otras, actividades formativas para docentes y alumnos, charlas y talleres en centros educativos, cursos de astrofotografía, retransmisiones de eventos astronómicos a través de canales especializados, organización de congresos, actividades culturales y conferencias y de la participación en la creación y gestión de museos dedicados a la astronomía.

- Divulgación de resultados de investigación, innovaciones tecnológicas y noticias sobre astronomía en prensa y redes sociales, además de coordinar el acceso a los observatorios de medios de comunicación y empresas de creación de contenidos culturales para entrevistas, programas y productos audiovisuales de diversa índole.

- Acción social a través de programas específicos, proyectos, políticas de gestión, formación y actividades en los ámbitos de la sostenibilidad, la igualdad y el acceso a la educación.

Since its foundation, the IAC and the collaborating institutions with facilities at the observatories have been doing everything possible to not only make known their activity and its impact on society but also to awaken the interest of new generations—and not so new ones—in astronomy and astrophysics.

To this end, they carry out intensive communication, dissemination and social action work, mainly through five channels.

- Visits and activities for schools, students and the general public to make the activities of the OCANs closer and more accessible and to encourage the same passion for science shared by those who work in them among the youngest.

- Dissemination through, among others, training activities for teachers and students, talks and workshops in educational centres, astrophotography courses, broadcasts of astronomical events in specialised channels, organisation of congresses, cultural activities and conferences, and participation in the creation and management of astronomy museums.

- Dissemination of research results, technological innovations and news on astronomy in the press and social networks, as well as coordinating access to the observatories for the media and companies creating cultural content for interviews, programmes and audiovisual products of various kinds.

- Social action through specific programmes, projects, management policies, training and activities in the fields of sustainability, equality and access to education.

*Conferencia Dark Skies for Science and Society
Dark Skies for Science and Society Conference*



- Visitas institucionales de personalidades relevantes en los ámbitos de la ciencia, la cultura, la economía y la política, destinadas a la promoción nacional e internacional de los observatorios, a atraer inversiones, establecer o afianzar convenios de colaboración con empresas e instituciones y fomentar políticas favorables para el desarrollo y trabajo científicos.

La pandemia obligó a un parón brusco y radical de muchas de estas actividades o a ejecutar en remoto las que se prestaban a ello en 2020 y no fue hasta casi mediados de 2021 que, manteniendo todos los protocolos de seguridad y precauciones debidas, empezaron a asomar las primeras briznas del regreso paulatino a la actividad habitual.

Estos son algunos de los eventos más destacados que ilustran ese vínculo entre los Observatorios de Canarias y la sociedad en 2021.



La Orquesta Sinfónica de Tenerife en el GTC
Tenerife Symphony Orchestra at the GTC

Conferencia «Cielos oscuros y silenciosos para la ciencia y la sociedad»

En octubre, la Oficina de Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA), el Gobierno de España y la Unión Astronómica Internacional (IAU) celebraron, con el liderazgo del IAC, en La Palma, la conferencia «Cielos oscuros y silenciosos para la ciencia y la sociedad», dando así continuidad al taller en línea homónimo que tuvo lugar en 2020. En ella se trató el impacto de las actividades humanas en la visibilidad del cielo estrellado y en el progreso de la ciencia y la astronomía, se buscó concienciar sobre la amenaza que suponen las megaconstelaciones de satélites y se estudiaron vías de acción y políticas para paliar sus efectos y conservar la calidad del cielo. A partir del trabajo realizado en torno a estos eventos se ha presentado un documento a la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (COPUOS) para que esta lo apruebe y convierta en una referencia para el análisis periódico de la situación de los cielos en el futuro.

- Institutional visits of relevant personalities in the fields of science, culture, economics and politics aimed at the national and international promotion of the observatories, attracting investment, establishing or strengthening collaboration agreements with companies and institutions and promoting policies favourable to scientific development and work.

The pandemic forced an abrupt and radical halt to many of these activities or the remote execution of those that lent themselves to it in 2020, and it was not until almost mid-2021 that, while maintaining all the necessary safety protocols and precautions, the first glimmers of a gradual return to normal activity began to appear.

These are some of the most prominent events that illustrated the link between the Observatorios de Canarias and society in 2021.

Conference “Dark & Quiet Skies for Science and Society”

In October, the United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA), the Government of Spain and the International Astronomical Union (IAU) held, under the leadership of the IAC, the conference “Dark and Quiet Skies for Science and Society” on La Palma, following up on the homonymous online workshop that took place in 2020. It sought to raise awareness of the threat posed by mega-constellations of satellites and explored courses of action and policies to mitigate their effects and preserve the quality of the sky. Based on the work done on these events, a document has been submitted to the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) for endorsement as a reference for regular analysis of the state of the skies in the future.

Institutional visits and events

In January, the Tenerife Symphony Orchestra’s re-cording of Beethoven’s “Heroic” symphony at the Grantecan on the occasion of the 250th anniversary of the composer’s birth was presented. It was the first time the telescope had hosted such an event.

In February, we received a visit from the then Secretary of State for Global Spain to learn about the projects being carried out at this research centre and those that will be launched in the near future.

In March, the management agreement for the Roque de los Muchachos Visitor Centre, was signed between the Cabildo de La Palma, Garafía Town Council and the Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). The steering committee of this important infrastructure for tourism and scientific dissemination, whose design and contents have involved both the IAC and the rest of the ORM user institutions, met again in June

Visitas y eventos institucionales

En enero, se presentó la grabación que realizó la Orquesta Sinfónica de Tenerife de la sinfonía «Heróica» de Beethoven en el GTC con motivo del 250 aniversario del nacimiento del compositor. Fue la primera vez que se llevaba a cabo en el telescopio un evento de esas características.

En febrero, recibimos la visita del entonces secretario de Estado de España Global para conocer los proyectos que se realizan en este centro de investigación, así como aquellos que verán la luz en un futuro próximo.

En marzo, se firmó el acuerdo de gestión del Centro de Visitantes del Roque de los Muchachos entre el Cabildo de La Palma, el Ayuntamiento de Garafía y el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). El comité rector de esta importante infraestructura turística y de divulgación científica, en cuyo diseño y contenidos se han involucrado tanto el IAC como el resto de las instituciones usuarias del ORM, volvió a reunirse en junio en el ORM y, finalmente, en diciembre tuvo lugar su inauguración. El acto contó con la presencia de la ministra de Turismo, y del presidente de Canarias, entre otras personalidades.

En octubre, se celebró el 25 aniversario de la inauguración del Telescopio Nazionale Galileo (29 de junio de 1996) con una reunión en La Palma. A pesar de las dificultades para viajar debido a la erupción del volcán, un gran número de astrónomos italianos se unió al personal del TNG, autoridades locales y a los directores del ORM. Asimismo, un amplio público siguió el evento a distancia a través de un seminario web. El uso del TNG para investigación, desarrollo y

La Fundación Mujeres por África visita el OT.

The Mujeres por África Foundation visits the OT.



at the ORM and, finally, its inauguration took place in December. The event was attended by the Minister of Tourism and the President of the Canary Islands, among other personalities.



25 años del TNG
25 years of the TNG

In October, the 25th anniversary of the inauguration of the Telescopio Nazionale Galileo (29 June 1996) was celebrated with a meeting on La Palma. Despite the difficulties in travelling due to the ongoing volcano eruption, a large number of Italian astronomers joined the TNG staff, local authorities and the ORM directors. A wide audience followed the event remotely as a webinar, too. The use of the TNG for research, development and outreach purposes has led to important results in the studies of our solar system, extrasolar worlds and galactic and extragalactic sources, besides having a strong social impact on the island’s activities.

divulgación ha dado lugar a importantes resultados en el estudio de nuestro sistema solar, de los mundos extrasolares y de las fuentes galácticas y extragalácticas, además de tener un considerable impacto social en las actividades de la isla.

En noviembre, la presidenta de la Fundación Mujeres por África y exvicepresidenta del Gobierno de España, junto con la coordinadora del área científica y de investigación de la Fundación y una astrofísica de Zambia, que realizó una estancia en el IAC



*La Orquesta Sinfónica de Tenerife en el GTC
Tenerife Symphony Orchestra at the GTC*

dentro del programa «Ellas Investigan», visitaron el Observatorio del Teide. También en ese mismo mes visitaron el OT, por un lado, el expresidente de la Helmholtz Society, y, por otro, un grupo de astrofotógrafos procedentes de varios países europeos.

Visitas de medios y prensa

Los observatorios y sus telescopios aparecen mencionados en más de 100 notas de prensa del IAC y de las instituciones científicas que participan en ellos y, a continuación, se reseña una pequeña muestra de las 35 grabaciones que diversos medios nacionales e internacionales realizaron en los observatorios en 2021.

En mayo se grabaron en el ORM contenidos para Acción Cultural y el pabellón de España en la Expo 2020 de Dubái.

En junio, ElTime.es entrevistó a la directora técnica del European Solar Telescope y al jefe de operaciones científicas del Grantecan. RTVE también subió al ORM a grabar un documental sobre el Universo y la

In November, the president of the Women for Africa Foundation and former vice-president of the Spanish government, together with the coordinator of the Foundation's scientific and research area and a Zambian astrophysicist, who stayed at the IAC as part of the "Ellas Investigan" programme, visited the Teide Observatory. Also, in the same month, the former president of the Helmholtz Society and a group of astrophotographers from several European countries visited the OT.

Media and press visits

The observatories and their telescopes are mentioned in more than 100 press releases from the IAC and the scientific institutions present in them. The following is a small sample of the 35 audiovisual recordings made at the observatories in 2021 by various national and international media.

In May, content was recorded at the ORM for Acción Cultural and the Spanish pavilion at Expo 2020 in Dubai.

In June, ElTime.es interviewed the technical director of the European Solar Telescope and the head of science operations at Grantecan. RTVE also went up to the ORM to record a documentary about the Universe and the physical and psychological preparation of aspiring astronaut Javier Santaolalla.

In July, the Gran Telescopio Canarias, the Cherenkov Telescope Array, MAGIC, the LST-1, the Isaac Newton Group and the Telescopio Nazionale Galileo participated in the recording of the documentary

preparación física y psicológica del aspirante a astronauta Javier Santaolalla.

En julio, el Gran Telescopio Canarias, el Cherenkov Telescope Array, los MAGIC, el LST-1, el Isaac Newton Group y el Telescopio Nazionale Galileo participaron en la grabación de la serie documental «Hijos de las estrellas» para su distribución en varias plataformas de streaming.

En septiembre, el ORM fue escenario de una pieza del programa «Saber vivir» de RTVE.

En noviembre, la ACIISI grabó en el OT para divulgar la importancia de la ciencia en Canarias a través de varias piezas audiovisuales para difusión interna, redes y TV y en una serie documental llamada «Canarias Avanza», donde se muestra qué se investiga, qué se desarrolla y en qué se innova. También tuvo lugar la grabación de ARTE en el OT para una serie documental sobre las Islas Canarias. Su objetivo era presentar el observatorio como uno de los puntos más importantes de la tierra para la observación con el GREGOR como el mayor telescopio solar de Europa, situado además en un paisaje reconocido y protegido por la UNESCO. Asimismo, «Planeta Calleja» subió a grabar al ORM con Saúl Cravioto, medallista olímpico de piragua y ganador de MasterChef.

Divulgación, educación y acción social

A lo largo del año, el canal Sky-Live.tv retransmitió en vivo varios eventos astronómicos desde los observatorios, como las Cuadrántidas y las Eta Acuáridas 2021 desde el OT, las Perseidas y las Geminidas desde

series "Children of the Stars" for distribution on various streaming platforms.

In September, the ORM was the setting for a piece on the RTVE programme "Saber vivir".

In November, the ACIISI filmed at the OT to publicise the importance of science in the Canary Islands through various audiovisual pieces for internal distribution, networks and TV and in a documentary series called "Canarias Avanza", which shows what is being researched, what is being developed and what is being innovated. ARTE also filmed at the OT for a documentary series on the Canary Islands. It aimed to present the observatory as one of the most important observation points on Earth, with GREGOR as the largest Solar telescope in Europe, located in an environment recognised and protected by UNESCO. Also, "Planeta Calleja" went to the ORM to film Saúl Cravioto, Olympic canoeing medallist and MasterChef winner.

Outreach, education and social action

Throughout the year, the Sky-Live.tv channel broadcast live several astronomical events from the observatories, such as the Quadrantids and the Eta Aquarids 2021 from the OT, the Perseids and the Geminids from both observatories and an exceptional geological event: the eruption of the La Palma volcano from the ORM.

In February, the Astrophotography course of the "Cosmolab project - The Solar System as a Laboratory in the Classroom" took place at the Observatorio del Teide.



Cosmolab

Cosmolab

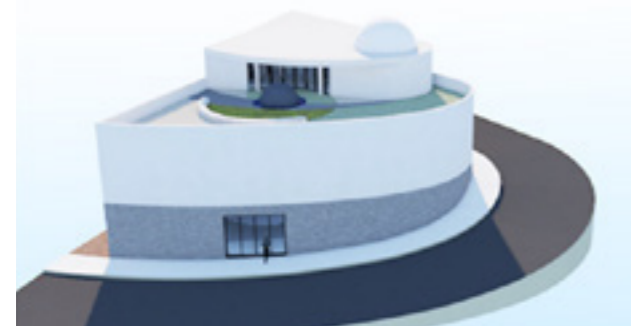
ambos observatorios y un evento geológico excepcional: la erupción del volcán de La Palma desde el ORM.

En febrero tuvo lugar el curso de Astrofotografía del proyecto «Cosmolab - El Sistema Solar como Laboratorio en el Aula», celebrado en el Observatorio del Teide. Un grupo reducido de docentes aprendieron a obtener imágenes astronómicas y procesarlas. La formación corrió a cargo de astrofísicos divulgadores de la Unidad de Comunicación y Cultura Científica.

En noviembre se puso en marcha, a través de la Fundación Starlight, un programa de recaudación de donaciones entre las instituciones usuarias de los OCAN, otras entidades y particulares para distribuir paquetes de ayuda económica a la escolarización a las familias damnificadas por la erupción del volcán en La Palma.

La edición virtual del programa «Nuestros Alumnos y el ORM» gestionó y realizó 16 videoconferencias y cinco conexiones en directo desde distintos telescopios del ORM, con todos los cursos de 4º de la ESO de La Palma y varios centros de enseñanza infantil y primaria.

Se desarrolló un primer borrador de proyecto para el Museo de Historia de la Astronomía en Garafía.



Proyecto del Museo de Historia de la Astronomía
Museum of Astronomy History project

En 2021 se celebró la tercera edición de «Habla con Ellas: Mujeres en Astronomía», con un total de 69 videoconferencias con centros educativos, de educación infantil a bachillerato, en las que participó personal de las instituciones usuarias de los dos observatorios.

El curso «PeTER investigar el Universo con telescopios robóticos», la Escuela Internacional «Astronomy Education Adventure in the Canary Islands» y el curso «ESA-Galileo Teacher Training Programme» impartieron formación para profesorado español e internacional sobre el uso del telescopio Liverpool (ORM) y Las Cumbres (OT) para desarrollar proyectos de investigación con alumnado de primaria y secundaria. Incluyeron visitas virtuales de los dos observatorios.

A small group of teachers learned how to obtain astronomical images and process them. The training was given by astrophysicists from the Science Communication and Culture Unit.

In November, a programme was launched through the Starlight Foundation to collect donations from the user institutions of the OCANs, other entities and individuals to distribute financial aid packages for schooling to families affected by the eruption of the volcano on La Palma.

The virtual edition of the programme “Our Students and the ORM” managed and carried out 16 videoconferences and five live connections from different telescopes of the ORM, with all the 4th compulsory secondary year students of La Palma and several infant and primary schools.

A first draft project for the Museum of Astronomy History in Garafía was developed.



Proyecto Habla con Ellas: Mujeres en Astronomía
Habla con Ellas: Mujeres en Astronomía project

The third edition of “Habla con Ellas: Mujeres en Astronomía” was held in 2021, with a total of 69 videoconferences with educational centres, from kindergarten to high school, with the participation of staff from the user institutions of the two observatories.

The course “PeTER investigating the Universe with robotic telescopes”, the International School “Astronomy Education Adventure in the Canary Islands”, and the course “ESA-Galileo Teacher Training Programme” provided training for Spanish and international teachers on the use of the Liverpool (ORM) and Las Cumbres (OT) telescopes to develop research projects with primary and secondary school students. They included virtual tours of the two observatories.



**OCAN y CCI:
CIFRAS Y DATOS**

**OCAN & CCI:
FACTS & FIGURES**

Observatorio del Roque de los Muchachos La Palma

Location: Island of La Palma (Canary Islands/Spain)

Altitude: 2.396 m

Area: 189 hectares

Longitude: 17°52'34" West

Latitude: 28°18'00" North

Øcm	INSTRUMENT	OWNER / OPERATOR	SINCE
20	Automatic Seeing Monitor (DIMMA)	IAC (ES), UN (FR)	2004
30	Automatic Seeing Monitor (RoboDIMM)	STFC/ING (UK)	2007
Optical & IR Telescopes			
40 x 16	GOTO	Un. Warwick (UK)	2017
4 x 12	SuperWASP	Un. Warwick (UK)	2014
45	DOT	DOT Foundation (NL)	1997
97	Swedish Solar Im Telescope	Un. Stockholm (SE)	2002
100	Warwick Im	Un. Warwick (UK)	2014
100	JKT	IAC/SARA	2015
120	Mercator	KU Leuven (BE)	2002
200	LT	LJMU (UK)	2003
250	INT	IAC/ING (ES)	1984
256	NOT	Turku Un. (FI) & Aarhus Un. (DK)	1989
358	TNG	INAF (IT)	1998
420	WHT	IAC/ING (ES)	1987
1,050	GTC	GRANTECAN (ES), Un. Florida (US) INAOE & UNAM, (MX)	2008
Cherenkov Telescopes			
	FRAM	Czech Academy of Sciences (CZ)	2018
300	FACT	FACT Collaboration*	2011
1,700x2	MAGIC I & MAGIC II	MAGIC Collaboration**	2005 & 2008
2,300	LST 1	LST Collaboration***	2018
Cameras			
	CILBO	ESA (International)	2011
	AMOS-CI	CU in Bratislava (SK)	2014
	MASCARA	Un Leiden (NL)	2015

Observatorio del Teide Tenerife

Location: Island of Tenerife (Canary Islands/Spain)

Altitude: 2.390 m

Area: 50 hectares

Longitude: 16°30'35" West

Latitude: 28°45'34" North

Øcm	INSTRUMENT	OWNER / OPERATOR	SINCE
20	Automatic Seeing Monitor (DIMMA)	IAC (ES)	2010
Microwave telescopes			
40	GroundBIRD Experiment	GroundBIRD Collaboration *	2019
150	LSPE/STRIP	UniMI (IT), INFN (IT), IAC (ES)	2019
250x2	QUIJOTE I + II	IAC, IFCA & UnC (ES); UC & UM (UK)	2012 & 2014
Optical & IR telescopes			
8	Earthshine	NJIT (USA)	2009
43	COAST	OU (UK)	2016
40x2	LCOGT-Teide Node	LCOGTN (US)	2015
40x2	MASTER	Sternberg Institute MSU (RU)	2014 & 2015
30x2 & 40x2	Optical Telescope Array	Telescope Society (US)	2015
60	PIRATE	OU (UK)	2017
40x1 + 45x2	MAGEC	OAM (ES)	---
50	Mons Telescope	Un. Mons (BE)	1972
70	Vacuum Tower (VTT)	L-KIS (DE)	1989
80	IAC-80	IAC (ES)	1993
90	THEMIS	CNRS (FR)	1996
100	SONG	Un Aarhus (DK) IAC (ES)	2014
100	OGS	ESA (International)	1996
100	ARTEMIS - SPECULOOS	Uliège (BE), MIT (US) IAC (ES)	2019
120 x 2	STELLA	AIP (DE)	2005 & 2008
150	Gregor (GT)	KIS, AIP & MPS (DE)	2014
155	(TCS)	IAC (ES)	1972
Solar Laboratory Instruments			
	MARK-I	UB (UK) & IAC (ES)	1977
	GONG	NSO (US)	1996
	High Resolution Photometer EAST	IAC (ES)	2006
Cameras			
	CILBO	ESA (International)	2011
	AMOS-CI	CU in Bratislava (SK)	2014

ORM: instituciones usuarias y países

ORM: user institutions & countries

Aarhus U. Aarhus University; **CILBO** Canary Islands Long-Baseline Observatory; **CU** Comenius Un.; **IAC** Instituto de Astrofísica de Canarias; **ICRR** Institute for Cosmic Ray Research – University of Tokyo; **INAF** Istituto Nazionale di Astrofisica; **INAOE** Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica; **KU Leuven** Katholieke Universiteit Leuven; **LJMU** Liverpool John Moores University; **SARA** The Southeastern Association for Research in Astronomy (US); **STFC** Science and Technology Facilities Council; **UN** University of Nice; **UNAM** Universidad Nacional Autónoma de México; **UTU** University of Turku; **UU** University of Utrecht.

GOTO: Consortium of UK Universities (Armagh, Leicester, Sheffield, Warwick), Monash University (Australia), University of Turku (Finland), the IAC (Spain), and NARIT (Thailand)

***FACT Collaboration**: **CH**: ETH Zurich; Un Geneva. **FI**: Finnish MAGIC Consortium (Tuorla Observatory, Un. Turku and Dept. of Physics, Un. Oulu.); **DE**: Un. Würzburg; TU Dortmund

****MAGIC Collaboration**: **BG**: Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, Sofia. **CH**: ETH, Zurich. **DE**: DESY, Zeuthen; MPI für Physik, Munich; Un. Würzburg; TU Dortmund; **ES**: CIEMAT, Madrid; IAC, La Laguna; IFAE-BIST and CERES-IEEC, Un. Autònoma de Barcelona, Barcelona; ICE-CSIC, Barcelona; Un. Barcelona, Barcelona; Un. Complutense, Madrid. **FI**: Finnish MAGIC Consortium (Tuorla Observatory, Un. Turku and Dept. of Physics, Un. Oulu.) **HR**: Croatian MAGIC Consortium (Rudjer Boskovic Institute, Un. Rijeka and Un. Split.) **IN**: SINP, Kolkata. **IT**: Un. di Udine, and INFN Trieste; INAF, Rome; Un. Siena and INFN Pisa, Siena; Un. Padova and INFN Padova, Padova; Un. Insubria and INFN Milano, Como. **JP**: Japanese MAGIC Consortium (ICRR, Un. Tokyo, Tokyo and Division of Physics and Astronomy, Un. Kyoto, Kyoto). **PL**: Un. Łódź, Lodz

*****LST Collaboration**: **BR**: CBFP, Rio de Janeiro. **DE**: MPI für Physik, Munich; Un. Hamburg; Un. Würzburg. **ES**: CIEMAT, Madrid; IAC, La Laguna; IFAE-BIST, Un. Autònoma de Barcelona; ICC, Un. Barcelona; PIC, Barcelona; Un. Complutense, Madrid. **FR**: CPPM, Marseille; CNRS/LAPP, Annecy. **HR**: FESB, Un. Split. **IN**: SINP, Kolhata. **IT**: INFN Bari; Un. Padova and INFN Padova; INFN Perugia; Un. Siena and INFN Pisa, Siena; Un. Udine and INFN Trieste, Udine. **JP**: ICRR and Un. Tokyo, Tokyo; Un. Kyoto; Un. Ibaraki; Un. Nagoya; Un. Hiroshima; Un. Yamagata; Un. Waseda; Un. Konan; Un. Aoyama; Un. Saitama, Un. Kinki; KEK, Tsukuba; RIKEN and Un. Saitama, Saitama; Un. Tokai, Kanagawa, Un. Tokushima. **PL** Un. Łódź, Lodz. **SE**: Un. Stockholm

BE Belgium; **BG** Bulgaria; **BR** Brazil; **CH** Switzerland; **CZ** Czech Republic; **ES** Spain; **FI** Finland; **FR** France; **DE** Germany; **DK** Denmark; **HR** Croatia; **IN** India; **IT** Italy; **JP** Japan; **MX** Mexico; **NL** Netherlands; **PL** Poland; **SE** Sweden; **SK** Slovakia; **UK** United Kingdom; **US** United States of America

OT: instituciones usuarias y países

OT: user institutions & countries

AIP Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam; **CILBO** Canary Islands Long-Baseline Observatory; **CNRS** Centre National de la Recherche Scientifique; **CU** Comenius Un.; **ESA** European Space Agency; **IAC** Instituto de Astrofísica de Canarias; **IFCA** Instituto de Física de Cantabria; **INFN** Istituto Nazionale di Fisica Nucleare; **LCOGTN** Las Cumbres Observatory Global Telescope Network; **KIS** Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik; **MIT** Massachusetts Institute of Technology; **MPS** Max-Planck-Institute for Solar System Research; **MSU** Moscow State University; **MU** Mons University; **NJIT** New Jersey Institute of Technology; **NSO** National Solar Observatory; **OAM** Observatorio Astronómico de Mallorca; **OGS** Optical Ground Station; **OU** The Open University; **RIKEN** Center for Advanced Photonics; **STScI** Space Telescope Science Institute; **TCS** Carlos Sánchez Telescope; **UB** University of Birmingham; **UC** University of Cambridge; **UnC** Universidad de Cantabria; **ULiège** Université de Liège; **UM** University of Manchester; **UniMI** Università Degli Studi di Milano.

*GroundBIRD Collaboration

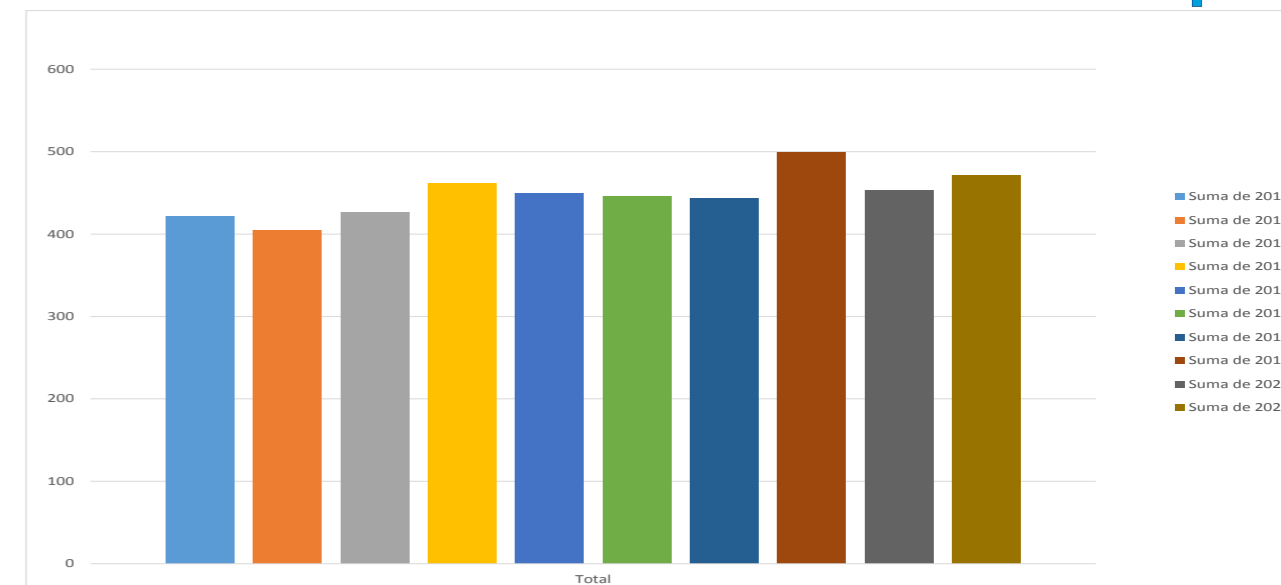
Japan: RIKEN Institute for Advanced Photonics, KEK (High Energy Accelerator Research Organization), Kyoto University, Saitama University, The University of Tokyo, NAOJ (National Astronomical Observatory of Japan), Tohoku University

Korea: Korea University

Spain: Instituto de Astrofísica de Canarias

BE Belgium; **DK** Denmark; **ES** Spain; **FR** France; **DE** Germany; **JP** Japan; **RU** Russia; **SK** Slovakia; **UK** United Kingdom; **US** United States of America.

Artículos Papers



Número aproximado de artículos en revistas con jueces publicados cada año con datos obtenidos con los telescopios de los Observatorios de Canarias.

Approximate number of papers published each year in refereed journals with data obtained with the telescopes installed in the Observatorios de Canarias.

Miembros del CCI en 2021 CCI members in 2021

President: Luca Valenziano
Vice-President: Rafael Rebolo

Oskar von der Lühe
Aurélie Marchaudon
J Miguel Mas Hesse
Seppo Mattila
Ernesto Pereda de Pablo
Rafael Bachiller
Colin Vincent
Christoffel Waelkens

Appointees
Elena Terlevich
Johan H. Knapen
Julia G. Lecuona

Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF)
Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Academy of Finland
Universidad de La Laguna (ULL)
Comisión Nacional de Astronomía (CNA)
Science and Technology Facilities Council (STFC)
Flemish Research Foundation (FWO)

CCI scientific adviser
CCI scientific secretary
CCI administrative secretary

Miembros de subcomités del CCI en 2021 CCI sub-committees members in 2021

ORM Common Services Committee

Chair: Victor Acciari – MAGIC
Secretary: Juan C. Pérez – ORM site mng.
Marc Balcells – ING
Romano Corradi – GTC
Álex Oscoz – IAC
Dirk Raback – LT
Ennio Poretti – TNG
Saskia Prins – Mercator
Thomas Augusteijn – NOT
Observers: Daniel Mazin – LST
Peter Suetterlin – SST

OT Common Services Committee

Chair: Bernard Gelly – THEMIS
Secretary: Miquel Serra – OT Site Manager
Álex Oscoz – IAC
Ulrich Kolb – PIRATE & COAST
Reiner Volkmer – KIS
Michael Weber – STELLA
Artem Burdanoc – OT-CSC
Giovanni Pareschi – ASTRI
Observer: Jorge Piris – ESA/OGS

SUCOSIP Laser Guide Star Working Group

Chair: Chris Benn – ING
Casiana Muñoz-Tuñón – IAC
Antonio Cabrera – GTC
Julio Castro & Juan Carlos Pérez – IAC
Christophe Dumas – TMT
Ángel Otarola – TMT
Markus Gaug – CTAO
Emilio Molinari – Former TNG
Clemens Heese – ESA

Site Properties Sub-Committee (SUCOSIP)

Chair: Casiana Muñoz-Tuñón – IAC
Secretariat: CCI secretaries – IAC
Chris Benn – ING
Chris Copperwheat – LT
Romano Corradi – GTC
Markus Gaug – CTAO
Bernard Gelly – THEMIS
Oskar v d Lühe – KIS
Razmik Mirzoyan – MAGIC
Sergio Ortolani – TNG
Saskia Prins – Mercator
Göran Scharmer – SST
Jean Vernin – University of Nice
Juan Cortina – LST
Observers: Christoph Dumas – TMT
Giovanni Pareschi – ASTRI

Adrian Biland (MAGIC & FACT)
Alex Oscoz (IAC)
Ángel Otarola (ESO)
Auni Somero (MAGIC)
Aurélie Marchaudon (CNRS-INSU)
B Thomas Soifer (TMT)
Bernard Gelly (THEMIS)
Brigitte Christina Henderson (ING)
Casiana Muñoz-Tuñón (IAC)
Chiko Otani (Ground-BIRD)
Chris Benn (ING)
Chris Collins (LT-ARI)
Chris M. Copperwheat (LT2)
Christoffel Waelkens (Mercator)
Christophe Dumas (TMT)
Clemens Heese (OGS)
Colin Vincent (STFC)
Dan Kiselman (SST)
Daniel Batcheldor (JKT)
Daniel Mazin (LST-CTA)
Danny Steeghs (GOTO)
David Bristow (CTA)
Diego Torres (CNA)
Dirk Raback (LT)
Don Pollacco (SuperWASP & Warwick 1m)
Ennio Poretti (TNG)
Ernesto Pereda de Pablo (ULL)
Federico Ferrini (CTAO)
Giovanni Pareschi (INAF)
Göran Scharmer (SST)
Hans Kjeldsen (SONG)
Hans Van Winckel (MERCATOR)
Iain Steele (LT)
Ignas Snellen (MASCARA)
James Smith (OU)
Jean Vernin (Université de Nice)
Johan Knapen (IAC)
Jorge Piris (ESA)
Jørgen Christensen-Dalsgaard (ING)
Jorrit Leenaarts (Un Stockholm)
José Gavira (ESA)
Jose Teran (M3-TMT)
Juan Carlos Pérez Arencibia (ORM)
Juan Cortina (LST)
Julia Lecuona (IAC)
Julien de Wit (SPECULOOS)
Juraj Toth (AMOS)
Juri Poutanen (Tuorla Obs.)
Klaus G. Strassmeier (STELLA)
Lisa Storrie-Lombardi (LCOGTN)
Luca Valenziano (INAF)
Luigi Colangeli (CILBO)
Manel Martínez (LST)
Marc Balcells (ING)
Marie Karjalainen (MAGIC)
Markus Gaug (MAGIC-CTAO)
Martin Giard (CNRS)
Masahiro Teshima (LST-CTA)
Michaël Gillon (SPECULOOS)
Michael Paolucci (SLOOH)
Michael Prouza (FRAM)
Michael Weber (STELLA)
Miguel Mas Hesse (CSIC)
Miquel Serra-Ricart (Teide)
Paolo Calisse (CTAO)
Patricia Márquez (LST)
Rafael Rebolo (IAC)
Razmik Mirzoyan (MAGIC)
Reiner Volkmer (KIS)
Ricardo Génova Santos (QUIJOTE)
Rob Hammerschlag (DOT)
Romano Corradi (GTC)
Saskia Prins (MERCATOR)
Seppo Mattila (NOT - Tuorla Obs.)
Sergio Ortolani (INAF)
Sheona Urquhart (OU)
Svetlana Berdyugina (KIS)
Thomas Augusteijn (NOT)
Ulrich Kolb (OU)
Victor Acciari (MAGIC)
Vladimir Lipunov (MASTER_IAC)
Wolfgang Wild (CTAO)

Miembros y asociados del CCI CCI members & associates

biland@phys.ethz.ch
aoscoz@iac.es
angel.otarola@eso.org
asomero@ifae.es
aurelie.marchaudon@irap.omp.eu
bts@irastro.caltech.edu
BGelly@themis.iac.es
brigitte@phys.au.dk
cmt@iac.es
otani@riken.jp
crb@ing.iac.es
C.A.Collins@lmm.ac.uk
c.m.copperwheat@lmm.ac.uk
christoffel@ster.kuleuven.be
cdumas@tmt.org
Clemens.Heese@esa.int
Colin.Vincent@stfc.ac.uk
dan@astro.su.se
dbatcheldor@fit.edu
mazin@icrr.u-tokyo.ac.jp
D.T.H.Steeghs@warwick.ac.uk
david.bristow@cta-observatory.org
dtorres@ice.csic.es
dr@astro.ljmu.ac.uk
d.pollacco@warwick.ac.uk
poretti@tng.iac.es
vicinv@ull.es
federico.ferrini@cta-observatory.org
giovanni.pareschi@inaf.it
scharmer@astro.su.se
hans@phys.au.dk
hans.vanwinkel@ster.kuleuven.be
ias@astro.ljmu.ac.uk
snellen@strw.leidenuniv.nl
james.smith@open.ac.uk
vernin@unice.fr
johan.knapen@iac.es
jorge.piris@esa.int
jcd@phys.au.dk
jorrit.leenaarts@astro.su.se
jose.gavira.izquierdo@esa.int
jteran@m3eng.com
jcperez@iac.es
juan.cortina@ciemat.es
julia.lecuona@iac.es
jdewit@mit.edu
Juraj.Toth@fmph.uniba.sk
juri.poutanen@utu.fi
kstrassmeier@aip.de
lisa@ico.global
luca.valenziano@inaf.it
luigi.colangeli@esa.int
martinez@ifae.es
director@ing.iac.es
mkarjalainen@ifae.es
Markus.Gaug@uab.cat
Martin.Giard@cnrs-dir.fr
mteshima@mppmu.mpg.de
michael.gillon@ulg.ac.be
mike@slooh.com
prouza@fzu.cz
mweber@aip.de
mm@cab.inta-csic.es
mserra@iac.es
paolo.calisse@cta-observatory.org
pmarquez@ifae.es
director@iac.es
razmik@mppmu.mpg.de
volkmer@leibniz-kis.de
rgs@iac.es
r.h.hammerschlag@astro.uu.nl
romano.corradi@gtc.iac.es
Saskia.Prins@kuleuven.be
sepma@utu.fi
sergio.ortolani@unipd.it
sheona.urquhart@open.ac.uk
sveta@kis.uni-freiburg.de
tau@not.iac.es
Ulrich.Kolb@open.ac.uk
vacciari@ifae.es
lipunov2007@gmail.com
wwild@cta-observatory.org