

Gran Telescopio Canarias

GTC10

años
de Ciencia

years
of Science



3

Presentación

Presentation

4

Ciencia fascinante con un telescopio asombroso

Fascinating Science with a amazing telescope

6

Rodeando al Sol. El Sistema Solar

Circling the Sun. The Solar System

8

Orbitando estrellas distantes. Exoplanetas

Orbiting distant stars. Exoplanets

10

El final de sus días. Estrellas evolucionadas

At the end of their lifetimes. Evolved stars

12

Fuera de la oscuridad. Agujeros negros

Out of the dark. Black holes

14

Desde el mismísimo comienzo. Estrellas primitivas

From the very beginning. Primeval stars

16

La captura de la luz polarizada. Campos magnéticos en el Centro Galáctico

Catching the polarized light. Galactic Centre magnetic fields

18

Forasteras en el cielo. Estrellas en galaxias cercanas

Strangers in the sky. Stars in nearby galaxies

20

Vista panorámica del GTC

Panoramic view of GTC

22

La imagen más profunda. Observando galaxias débiles

The deepest image. Observing faint galaxies

24

Campos frontera. Cosmología

Frontier fields. Cosmology

26

El mensaje de la gravedad. Materia oscura

Only gravity reveals. Dark matter

28

Anillos, cruces y mucho más. Lentes gravitacionales

Rings, crosses and a lot more. Gravitational lensing

30

El extremo. Astrofísica de altas energías

Into the extreme. High energy Astrophysics

32

En nuestras manos. El funcionamiento del telescopio

It's all about people. Making the telescope work

34

Hablemos del espacio. Acercando la Astronomía al público

Let's talk about space. Communicating Astronomy with the public

36

Una nueva era. El futuro del GTC

A new era. The future of GTC

Presentación

La Astronomía, que es una de las ciencias más antiguas, tiene un atractivo innato para personas de todas las edades, en parte porque involucra las fascinantes y trascendentales preguntas “de la vida, del Universo y del todo” y, también, porque gran parte de los datos obtenidos con los grandes telescopios pueden ser presentados como objetos de impresionante belleza. En una noche clara y oscura, la imagen de la majestuosa Vía Láctea extendiéndose por el cielo ha sido un espectáculo inspirador para personas de todas las culturas y edades. Hoy en día, la Astronomía es una de las ciencias más dinámicas, utiliza las tecnologías más avanzadas y los telescopios más sofisticados que nos permiten observar lo más profundo del Cosmos como nunca antes se había hecho. Mediante estos progresos, detectamos planetas alrededor de otras estrellas y estudiamos objetos en el extremo más alejado del Universo observable. Incluso podemos comenzar a vislumbrar la respuesta a una pregunta fundamental que inquieta a toda la humanidad: ¿hay vida en alguna otra parte del Universo?

A lo largo de los últimos 10 años, desde su inauguración, el Gran Telescopio Canarias (GTC), también conocido como Grantecan, ha contribuido en gran medida a aumentar nuestros conocimientos acerca del Universo. Este folleto presenta una selección de los resultados científicos más importantes obtenidos con el GTC en sus primeros diez años de observación. Descubre el mundo de la Astrofísica moderna con el telescopio óptico e infrarrojo más grande del mundo.

Romano L.M. Corradi, Director del GTC

Presentation

Astronomy, as one of the oldest sciences, has an innate appeal for people of all ages, partly because it concerns the fascinating, great questions “of life, the Universe and everything” and partly because much of the data obtained with large telescopes can be presented as objects of stunning beauty. On a clear dark night, the majestic Milky Way stretching across the sky has been an inspiring sight for people from all cultures and ages. Today, astronomy is one of the most dynamic sciences, using most advanced technologies and sophisticated telescopes that allow us to peer deeper into the cosmos than ever before. Here we detect planets around other stars and study objects at the far edge of the observable universe. We even can start to answer the fundamental question that fascinates every one of us: is there life elsewhere in the Universe?

Since its inauguration 10 years ago, the Gran Telescopio Canarias (GTC), also known as Grantecan, contributed strongly in increasing our knowledge about the Universe. This booklet presents a selection among the most important scientific results obtained with the GTC in its first ten years of operation. Discover the world of modern astrophysics from the world's largest optical and infrared telescope.

Romano L.M. Corradi, GTC Director

Ciencia alucinante con un telescopio asombroso

La primera propuesta de construir un gran telescopio en Canarias fue presentada por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) en 1987. Durante las siguientes dos décadas, se hicieron grandes esfuerzos para financiar, desarrollar y construir el telescopio óptico e infrarrojo más grande del mundo (10,4 metros), en el Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM), en Garafía (La Palma). Las observaciones científicas del GTC comenzaron en 2009 y, desde entonces, su productividad científica ha aumentado significativamente. Debido a su versátil conjunto de instrumentos y a su modelo de observación altamente flexible, la ciencia realizada con el GTC cubre una amplia variedad de campos de investigación. Hasta marzo de 2019, se habían obtenido más de 13.600 horas de observación con este telescopio, produciendo datos científicos que condujeron a la publicación de 440 artículos en revistas de primer nivel. Se ha hecho un gran esfuerzo para conseguir que el GTC fuera una máquina eficiente para la comunidad científica en términos de potencia, tiempos de observación y versatilidad brindada por sus instrumentos científicos. Los siguientes doce epígrafes resaltan algunos de los resultados más importantes obtenidos con el GTC en su primera década de actividad.

Fascinating Science with an amazing telescope

The first idea of building a large telescope at the Canaries was put forward by the Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) back in 1987. Over the following two decades, strong efforts were made to finance, develop and construct the largest single-aperture optical and infrared telescope of the world (10.4 metres), in the Roque de los Muchachos Observatory (ORM), in Garafía (La Palma). GTC science operations started in 2009, and since then its scientific productivity has been significantly rising. Given its versatile suite of instrumentation and highly flexible observing model, science done with the GTC covers a broad variety of research fields. As of March 2019, over 13,600 hours of observation produced scientific data leading to the publication of 440 refereed papers. A tremendous effort was done to make the GTC an efficient machine in terms of observing time that it delivers to the community and in terms of the power and versatility provided by its scientific instruments. The following twelve topics highlight some of the most important papers obtained with the GTC over its first decade of operation.



Rodeando al Sol

El Sistema Solar

Con el GTC se han estudiado varios objetos en el Sistema Solar, incluidos los planetas y sus atmósferas, satélites, cometas, asteroides y otros cuerpos menores. Entre ellos se encuentran los llamados “Objetos Trans-Neptunianos Extremos” (ETNOs, de sus siglas en inglés), que son cuerpos pequeños que orbitan alrededor del Sol en órbitas elípticas muy excéntricas, a distancias típicas de cientos de unidades astronómicas (UA). A modo de referencia, la Tierra orbita a 1 UA del Sol y Plutón a 40 UA. A estas distancias, los ETNOs reciben poca cantidad de luz solar y son muy débiles. Para poder estudiarlos se requiere el uso de grandes telescopios.

Utilizando el instrumento OSIRIS en el GTC, los investigadores obtuvieron observaciones espectroscópicas de varios ETNOs. Estas observaciones permitieron determinar sus composiciones químicas, discriminando si presentaban hielo puro en sus superficies como en el caso de Plutón, estructuras de carbono altamente procesadas o silicatos amorfos como se observa en otros asteroides. Según su composición química, los ETNOs pueden clasificarse en familias, cuyas propiedades orbitales podrían ayudar a resolver la cuestión de si un objeto masivo que aún no ha sido descubierto, el denominado Planeta 9, existe. Cabe recordar que Plutón fue considerado el noveno planeta hasta 2006, mientras que hoy se clasifica como un miembro de la familia ETNO.

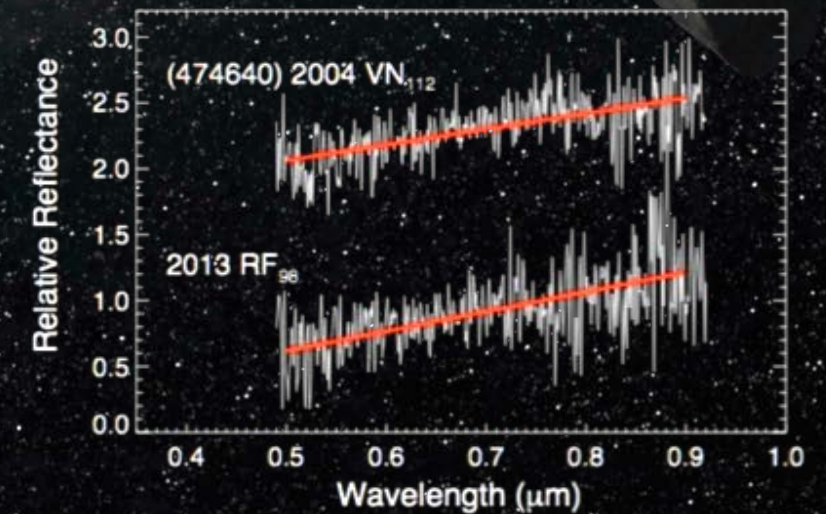
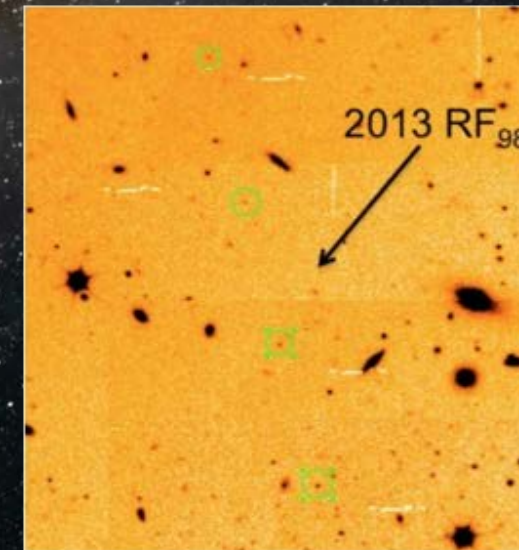
Circling the Sun

The Solar System

With the GTC a variety of objects in the Solar System has been studied, including planets and their atmospheres, satellites, comets, asteroids and other minor bodies. Among them were the so called “Extreme Trans-Neptunian Objects”, or ETNOs, which are small bodies that orbit the Sun in highly elliptical orbits at typical distances of hundreds of astronomical units (AU). For reference, the Earth orbits at 1 AU and Pluto at 40 AU. At this distance, ETNOs receive little amount of light from the Sun and are very faint. In order to be studied they require large telescopes. At the GTC researchers obtained spectroscopic observations of several ETNOs with the OSIRIS instrument. These observations allowed to determine their chemical composition, discriminating whether they have pure ice on their surfaces as in the case of Pluto, highly processed carbon compounds, or amorphous silicates as observed in other asteroids. According to their chemical composition ETNOs can be divided into families, whose orbital properties can in turn help solving the question of whether a still undiscovered massive object, the so-called Planet 9, does exist. Here we recall that Pluto was counted as the ninth planet until 2006, whereas today is being classified as a member of the ETNOs family.

Reference:

De León et al. 2017, MNRAS, 467, L66



Izquierda: secuencia de imágenes obtenidas durante cuatro noches consecutivas con el GTC, usadas para identificar el ETNO 2013 RF98. Derecha: espectro visible de los ETNOs 2004 VN112 y 2013 RF98.

Left: sequence of GTC images over four consecutive nights, used to identify ETNO 2013 RF98. Right: visible spectra of ETNOs 2004 VN112 and 2013 RF98.

Orbitando estrellas distantes

Exoplanetas

El estudio de planetas orbitando alrededor de otras estrellas se ha convertido en uno de los temas astronómicos más relevantes en la última década. A estos planetas los llamamos “exoplanetas” y se detectan, principalmente, de forma indirecta al analizar la luz de su estrella madre. Hoy en día se conocen más de 4.000 exoplanetas, y se dedica mucho esfuerzo a estudiar sus órbitas y propiedades físicas. Los grandes telescopios como GTC permiten investigar las propiedades de sus atmósferas utilizando información obtenida cuando los exoplanetas transitan frente a su estrella anfitriona. Gracias a la enorme área de captación de luz del GTC, los investigadores han implementado una técnica para observar estos tránsitos en diferentes longitudes de onda. De ese modo, se aprovecha el hecho de que la atmósfera del exoplaneta cambia su transparencia a diferentes longitudes de onda dependiendo de su composición química, lo que produce un cambio en la cantidad de luz estelar que es bloqueada por el exoplaneta en función de la longitud de onda. El análisis de esta absorción diferencial permite a los investigadores identificar los principales componentes químicos en las atmósferas de los exoplanetas, como el sodio, el potasio, el oxígeno, el agua o el óxido de titanio. En el futuro, este método también podría permitir descubrir signos de vida extraterrestre.

Orbiting distant stars

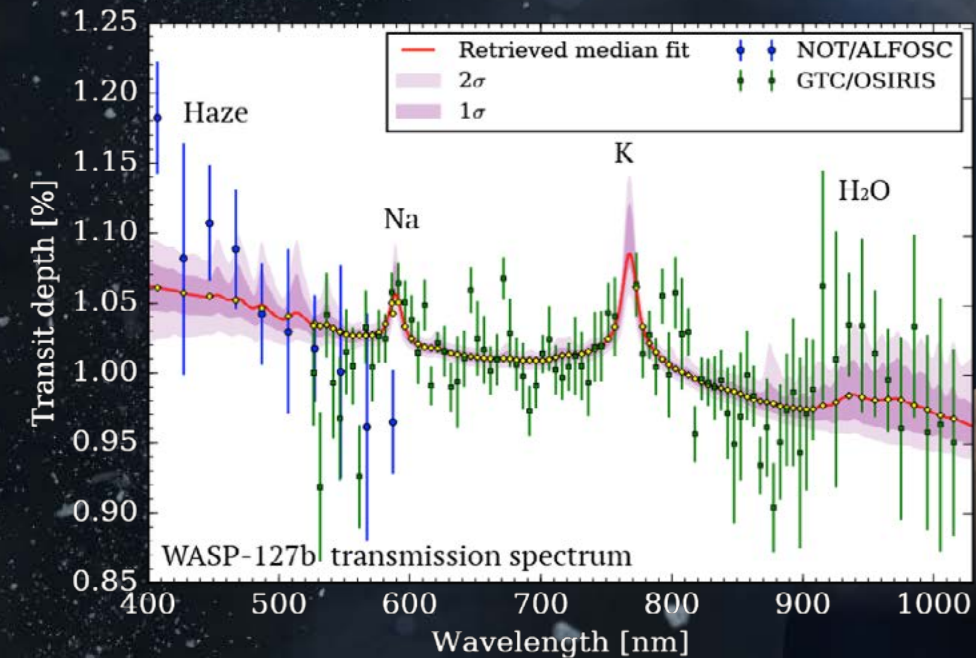
Exoplanets

Studying planets around other stars has become a major astronomical topic over the last decade. We call these planets “exoplanets”, which are detected mostly indirectly by analysing the light of their parent star. Nowadays more than 4,000 exoplanets are confirmed, and much effort is devoted to study their orbital and physical properties. Large telescopes such as the GTC also allow investigating the properties of their atmospheres by using information that is obtained when exoplanets transit in front of their host star. Taking advantage of the large light collecting area of the GTC, investigators implemented a sophisticated technique to observe these transits at different wavelengths. It takes advantage of the fact that the atmosphere of the exoplanet changes its transparency depending on its chemical composition, which in turn produces a change with wavelength of the amount of stellar light that is blocked by the exoplanet. The analysis of this differential absorption allows researchers to identify the main chemical components of the exoplanet atmospheres, such as sodium, potassium, oxygen, water, or titanium oxide. In the future, this method may also allow discovering signs of extra-terrestrial life.

References:

Sing et al. 2012, MNRAS, 426, 1663

Chen et al. 2018, A&A, 616, 145



Espectro “invertido” del exoplaneta WASP-127b obtenido mediante el análisis de la profundidad de la ocultación de la estrella en función de la longitud de onda. La absorción causada por el sodio, el potasio y posiblemente el agua son visibles en forma de “picos” en el espectro.

“Inverted” spectrum of exoplanet WASP-127b as obtained by analysing the depth of the star’s occultation as a function of wavelength. The absorption (seen here as “peaks”) caused by sodium, potassium, and possibly water are visible.

El final de sus días

Estrellas evolucionadas

Después de brillar silenciosamente durante miles de millones de años, las estrellas como el Sol terminan su existencia al expulsar sus capas externas produciendo grandes nubes de gas y polvo denominadas “nebulosas planetarias.” Estas nebulosas presentan todo tipo de formas, siendo las más extremas aquellas producidas muy probablemente por estrellas binarias, debido a su interacción gravitatoria. Usando los espectros ópticos del GTC, los astrónomos encontraron que una de estas nebulosas, Henize 2-428, contiene dos estrellas compactas a una distancia de dos millones de kilómetros (el doble del tamaño de nuestra estrella) que orbitan entre sí en tan solo cuatro horas. Su proximidad, junto con su gran masa, hará que estas dos estrellas dancen durante un lapso de tiempo de unos 700 millones de años hasta que colisionen y se fusionen, produciendo finalmente una supernova. Este es uno de los pocos ejemplos que se conocen acerca de los elusivos progenitores de las supernovas Tipo Ia, esenciales para la cosmología. Además, la obtención de espectros en el infrarrojo cercano en el GTC mediante el instrumento EMIR permitieron identificar la presencia de elementos químicos pesados como el telurio y el bromo en las nebulosas planetarias. Debido a que la formación de estos elementos se produce durante las etapas finales de la vida de una estrella, su investigación nos ayuda a comprender mejor la síntesis de elementos pesados en el Universo.

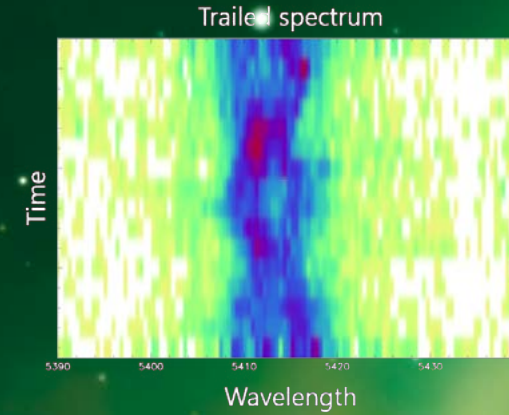
At the end of their lifetimes

Evolved stars

After quietly shining for billions of years, stars like the Sun end their existence by losing their external gaseous layers and produce spectacular objects called “planetary nebulae.” These nebulae display a variety of shapes, where extreme forms are likely to be produced by double stars due to their gravitational interaction. Using the optical spectra of the GTC, the astronomers found that one of these nebulae, Henize 2-428, contains two compact stars at a distance of two million kilometers (twice the size of our star) that orbit each other in just four hours. Their proximity, coupled with their significant mass, will make the two stars collide and merge within a time span of 700 million years, finally producing a supernova explosion. This is one of the few known examples of the elusive progenitors of the cosmologically important Supernovae of Type Ia. Moreover, GTC also identified the presence of heavy chemical elements such as tellurium and bromine in planetary nebulae through near infrared spectroscopical data obtained with EMIR instrument. As these elements are formed during the final stages of a star’s life, its investigation helps us to better understand the formation of heavy elements in the Universe.

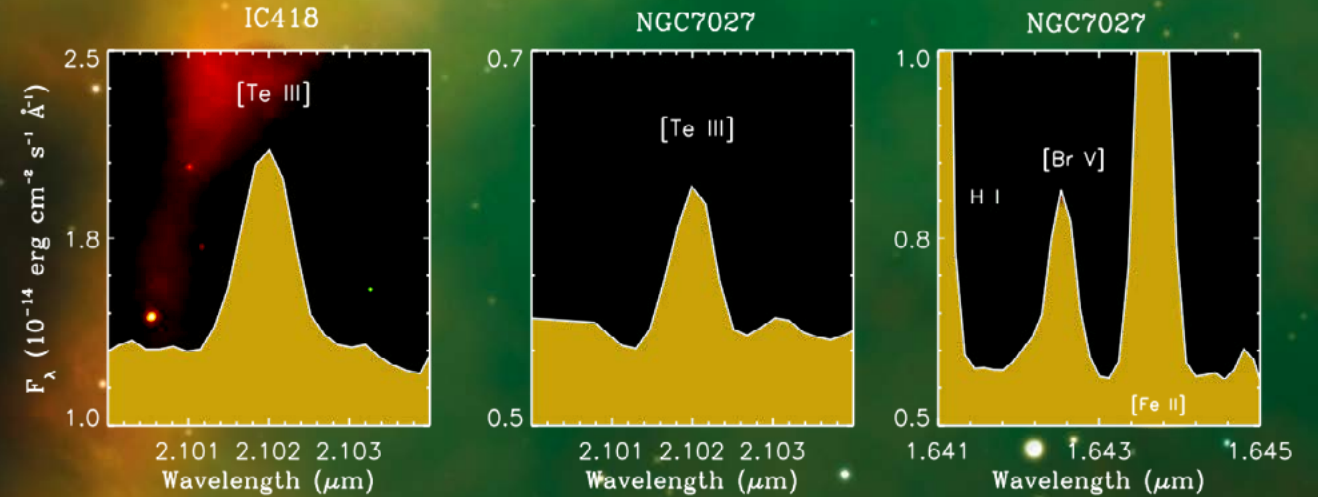
References:

Santander et al. 2015, *Nature*, 519, 63
Madonna et al. 2018, *ApJ*, 861, L8



Evolución temporal del espectro de Henize 2-428 durante un período orbital obtenido con OSIRIS en el GTC (Santander et al. 2015). El patrón de “doble hélice” mostrado por la línea de absorción estelar He II 5412 en función del tiempo revela la naturaleza binaria del sistema y permite la determinación de las masas dinámicas de las dos estrellas.

Trailing spectrum of Henize 2-428 over one orbital period obtained with OSIRIS at the GTC (Santander et al. 2015). The “double-helix” pattern displayed by the He II 5412 stellar absorption line as a function of time reveals the binary nature of the system and allows determination of the dynamical masses of two stars.



Líneas de telurio y bromo detectadas por primera vez a partir de espectros con EMIR (Madonna et al. 2018).
Newly detected tellurium and bromine lines from EMIR spectra (Madonna et al. 2018).

Fuera de la oscuridad

Agujeros negros

Los agujeros negros son objetos extremadamente compactos con un campo gravitatorio tan fuerte que ni siquiera la luz puede escapar de ellos. Como no emiten luz, su presencia debe deducirse por la influencia gravitatoria que ejercen sobre los objetos cercanos, por ejemplo cuando producen la transferencia de las capas gaseosas externas de una estrella compañera hacia el agujero negro. Antes de desaparecer en el agujero negro describiendo una ruta espiral caótica a través del llamado “disco de acreción”, el material se calienta y su emisión característica es la que revela la presencia del agujero negro. Después de 25 años de inactividad, el agujero negro V404 Cygni tuvo un nuevo estallido en 2015. Gracias a su modo de operación altamente flexible, el GTC pudo tomar cientos de espectros ópticos de este objeto. Por primera vez, estos datos revelaron la presencia de un flujo de material neutro con altas velocidades en las capas externas del disco de acreción, lo cual permitió estimar la cantidad de masa expulsada durante los recurrentes estallidos del agujero negro. Además, el GTC estudió la luz infrarroja del disco de acreción de V404 Cygni durante el estallido. Se encontró que la polarización de la luz era mucho menor de lo que se esperaba, lo que implica que el campo magnético, que es directamente responsable de la polarización de la luz, es aproximadamente 400 veces más débil de lo previsto.

Out of the dark

Black holes

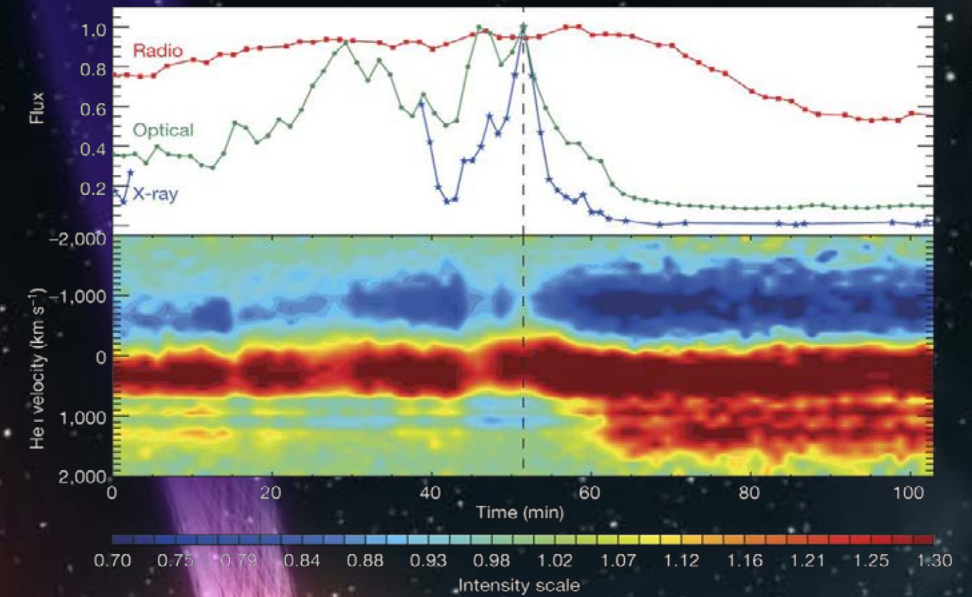
Black holes are extremely compact objects with such a strong gravitational field that not even light can escape from them. As they do not emit light, their presence must be inferred from their gravitational pull on nearby objects. One possibility are companion stars whose external gaseous layers can be transferred to the black hole. Before disappearing into the black hole following a chaotic spiral path through an “accretion disk”, material becomes hot and its characteristic emission reveals the presence of a black hole. After 25 years of quiescence, black hole V404 Cygni experienced an outburst in 2015. Thanks to its highly flexible observing mode, GTC took hundreds of optical spectra. For the first time these data showed the presence of a high-velocity wind of neutral material from the outer layers of the accretion disc, allowing to estimate the amount of mass ejected during the recurrent outbursts of the black hole. In addition, GTC studied the infrared light from the accretion disk of V404 Cygni during the outburst. It was found that the polarization of light was much smaller than expected, which implies that the magnetic field, which is directly responsible for the polarization, is about 400 times weaker than predicted.

References:

- Muñoz-Darias et al. 2016, *Nature*, 534, 75
- Dallilar et al. 2017, *Science*, 358, 1299
- Mata Sánchez et al. 2018, *MNRAS*, 481, 2646

Panel superior: rápida variabilidad de la luminosidad de V404 Cygni durante su estallido de 2015. Panel inferior: variabilidad de la línea de emisión He I 5876 en el mismo lapso de tiempo. El perfil P Cygni en este espectro (los colores azules se corresponden con absorción y el rojo con emisión) indica la presencia de un viento fuerte y variable del disco de acreción del agujero negro (Muñoz-Darias et al. 2016).

Top panel: fast variability of the luminosity of V404 Cygni during its 2015 outburst. Bottom panel: variability of the He I 5876 emission line over the same lapse of time. The P Cygni profile in this trailed spectrum (blue colours correspond to absorption, and red colour to emission) indicates the presence of a strong and variable wind from the black hole accretion disc (Muñoz-Darias et al. 2016).



Desde el mismísimo comienzo

Estrellas primitivas

La primera generación de estrellas masivas se formó alrededor de 300 millones de años después del Big Bang. Cuando estas jóvenes estrellas explotaron como supernovas, dispersaron sus elementos químicos recién formados en el medio interestelar. Estos elementos todavía se encuentran en las estrellas longevas y poco masivas en el Universo actual. Los investigadores están utilizando el GTC para encontrar estas estrellas primitivas, que son cruciales para la comprensión de la formación de los primeros elementos químicos producidos durante el Big Bang. Gracias al GTC se pudieron detectar dos casos excepcionales en el halo de nuestra galaxia: J0815 + 4729 a 7500 años luz de la Tierra y J0023 + 0307, ubicados a una distancia de 9450 años luz. Se encontró que ambos tenían una abundancia extremadamente baja de los elementos químicos más comunes. En J0023 + 0307, el carbono ni siquiera se pudo detectar, lo que arrojó dudas sobre los modelos de formación de estrellas poco masivas en el Universo temprano.

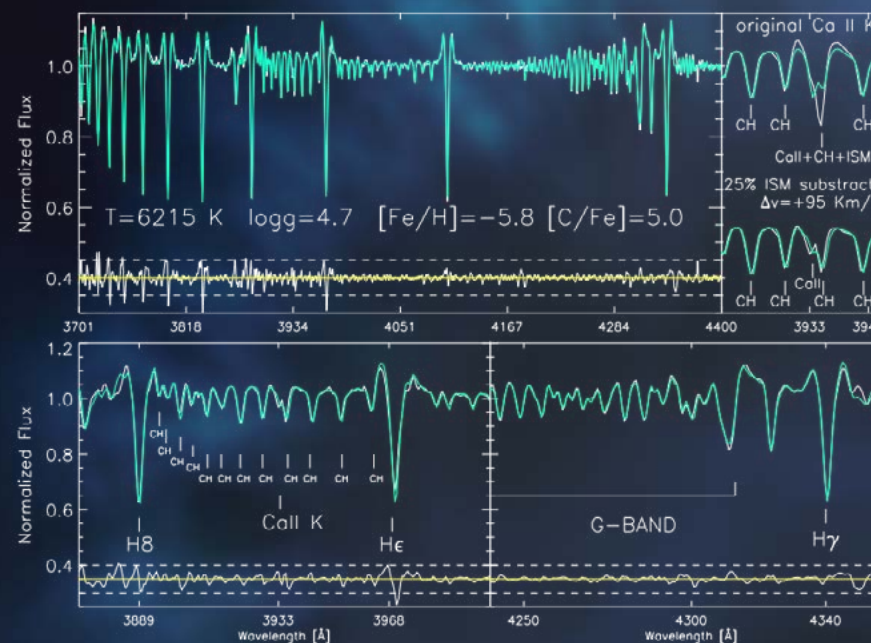
From the very beginning

Primeval stars

The first generation of massive stars formed around 300 million years after the Big Bang. When these short-lived stars exploded as supernovae, they injected newly formed chemical elements into the interstellar medium. These elements are still found in long-lived, low-mass stars in the Universe today. Researchers are using the GTC to find these primeval stars, which are crucial for the understanding of the formation of the first chemical elements during the Big Bang. Using the GTC two outstanding cases could be detected in the halo of our Galaxy: J0815+4729 at 7500 light years from Earth and J0023+0307, located at a distance of 9450 light years. Both were found to have extremely low abundances of the most common chemical elements. In J0023+0307 carbon could not even be detected, throwing doubt on the models of low mass star formation in the early Universe.

References:

Aguado et al. 2017, A&A, 604, 9
Aguado et al. 2018, ApJ, 852, L20



Espectro de J0815+4729 obtenido con OSIRIS en el GTC (línea blanca) y el mejor espectro sintético ajustado (línea azul).

OSIRIS at the GTC spectrum of J0815+4729 (white line), and the best fit synthetic spectrum (blue line).

La captura de la luz polarizada

Campos magnéticos en el Centro Galáctico

Según parece, todas las galaxias tienen un agujero negro supermasivo en su centro. La Vía Láctea no es una excepción, alberga un agujero negro de cuatro millones de masas solares. Es conocido como Sagittarius A* (Sgr. A*) y está localizado a 26.500 años luz de la Tierra, lo que lo convierte en el agujero negro supermasivo más cercano a nuestro sistema solar. Su observación se ve obstaculizada por la presencia de grandes cantidades de gas y polvo que oscurecen, a lo largo de nuestra línea de visión, el centro de la Vía Láctea. Esto provoca que sea completamente inaccesible en el rango de longitud de onda visible. Solo se puede penetrar esta cortina de gas y polvo en longitudes de onda más largas, como las del infrarrojo o las de radio. La región alrededor de Sgr A* se observó a aproximadamente 12,5 micras con CanariCam, la cámara para el infrarrojo intermedio (7,5 a 25 micras) del GTC, que cuenta con capacidades espectroscópicas, coronográficas y polarimétricas. Estas observaciones permitieron obtener un mapa con una resolución espacial de 0,3 segundos de arco que cubre aproximadamente un año luz alrededor del agujero negro. La cantidad y la orientación de la polarización de la luz emitida por el polvo proporciona información sobre las propiedades del campo magnético del medio interestelar y su relación con las poblaciones estelares que rodean al agujero negro supermasivo.

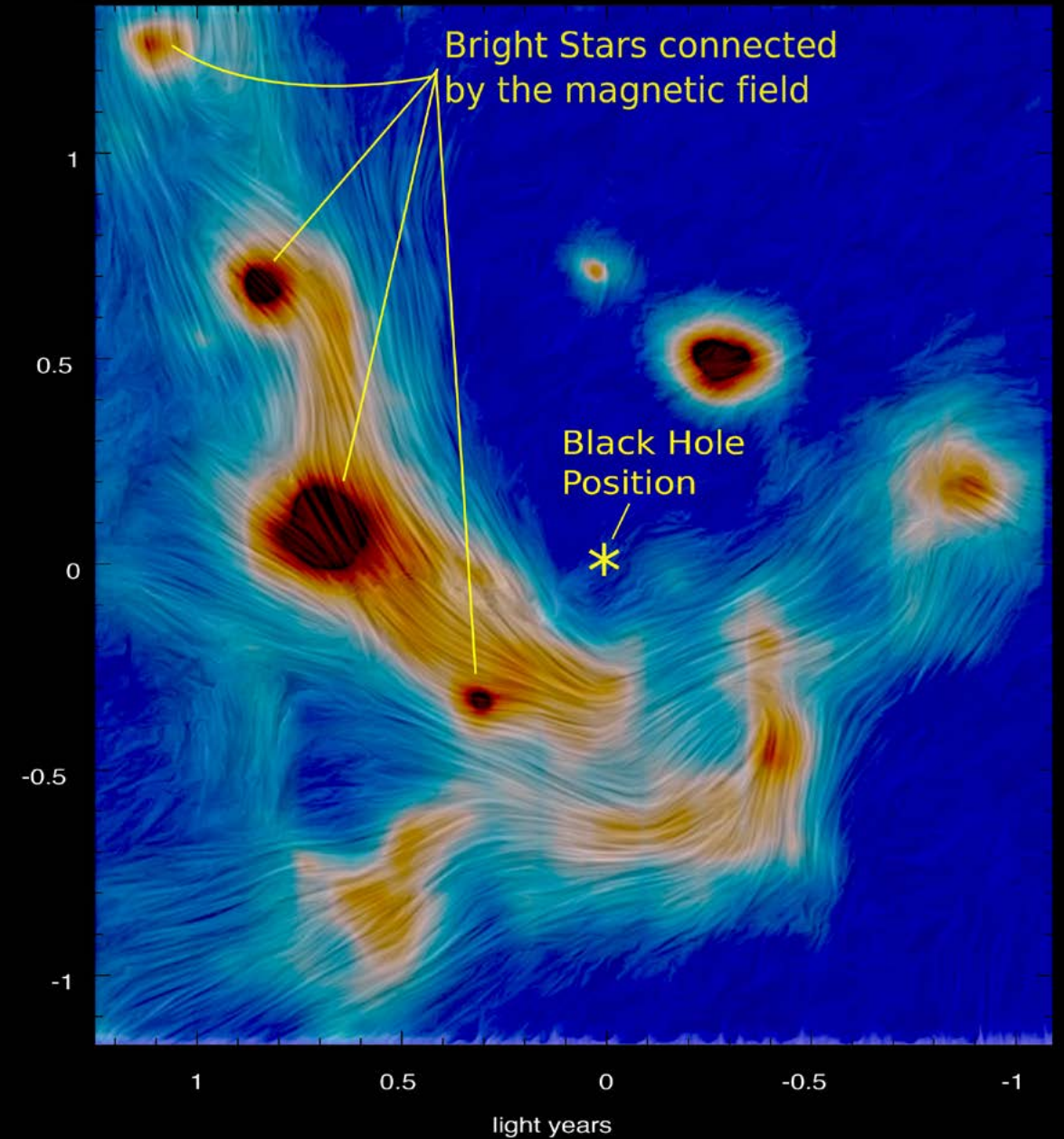
Catching the polarized light

Galactic Centre magnetic fields

It seems that all galaxies have a supermassive black hole in their centres. Our Milky Way is no exception, harbouring a four million solar mass black hole. It is known as Sagittarius A* (Sgr. A*) and is located at 26,500 light years from Earth, which makes it the nearest supermassive black hole to our solar system. Its observation is hampered by the presence of large amounts of obscuring gas and dust along the line of sight, which makes the centre of the Milky Way completely inaccessible in the visible wavelength range. Only at longer wavelengths, such as in the infrared or radio domain, our observations can penetrate this curtain of gas and dust. The region around Sgr. A* was observed at around 12.5 microns with CanariCam, the midinfrared (7.5 - 25 micron) imager at GTC with spectroscopic, coronagraphic and polarimetric capabilities. Observations produced a map of spatial resolution of 0.3 arc seconds covering approximately one light year around the black hole. The amount and orientation of the polarization of light emitted by dust provides information on the properties of the magnetic field of the interstellar medium and its relation with the stellar populations surrounding the supermassive black hole.

Reference:

Roche et al. 2018, MNRAS, 476, 235



Líneas de campo magnético en el Centro Galáctico derivadas del mapa de polarización obtenido con CanariCam en el GTC.

The magnetic field lines in the Galactic Centre as derived from the polarization map obtained with CanariCam at the GTC.

Forasteras en el cielo

Estrellas en galaxias cercanas

El amplio abanico de instrumentación disponible en el GTC permite a los astrónomos estudiar con detalle las poblaciones estelares en galaxias cercanas. Entre otros resultados, se han descubierto varias estrellas peculiares y masivas en M81, una galaxia bien conocida situada a 12 millones de años luz de distancia de nosotros. Anteriormente se pensaba que se trataba de cúmulos estelares, pero los espectros obtenidos con el instrumento OSIRIS revelaron fuertes banda de emisión en estos objetos, indicativas de que algunos de ellos eran en realidad estrellas del tipo Wolf-Rayet. Éstas son estrellas masivas en una fase corta cerca del final de su evolución y juegan un papel importante en la comprensión del camino evolutivo que conduce a las explosiones de supernovas.

Otras observaciones permitieron estudiar un peculiar microcuásar en M81 llamado ULS-1. Es una versión en miniatura de los cuásares gigantes observados en el centro de las galaxias, que contienen agujeros negros de millones de masas solares. Por el contrario, se cree que el ULS-1 está formado por un agujero negro con una masa similar al Sol, que orbita alrededor de una estrella gigante roja. En ULS-1 se detectó un chorro polar que se expandía a velocidades relativistas, alcanzando un 17% de la velocidad de la luz. Aunque este fenómeno es común en los microcuásares, no era esperable que se produjera en el caso concreto de ULS-1, dada la modesta emisión en rayos-X que presenta.

Strangers in the sky

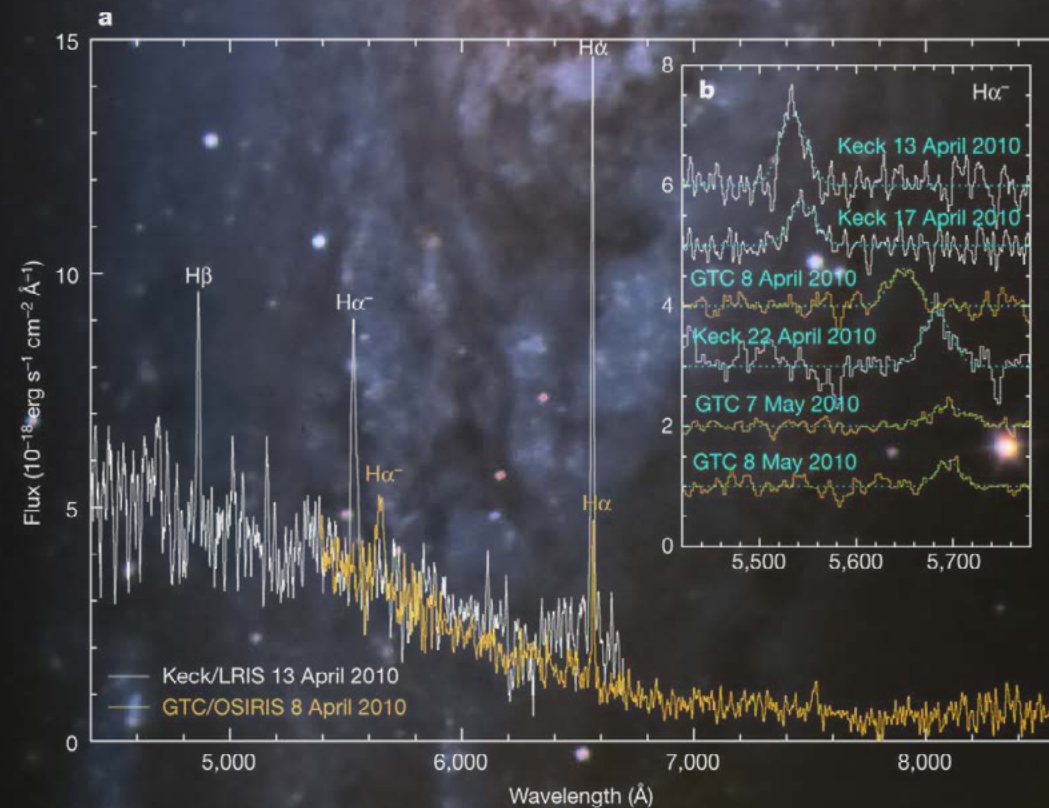
Stars in nearby galaxies

The multiplexed instrumentation of the GTC allows to study in detail stellar populations in nearby galaxies. Among other results, several rare massive stars were discovered in M81, a well-known galaxy located 12 million light years away from us. Previously thought to be stellar clusters, multi-object spectra from the OSIRIS instrument revealed strong emission bands, indicating that some of the targets actually were stars of Wolf-Rayet type. They are massive stars in a short phase near the end of their evolution and play an important role in understanding the evolutionary path leading to supernova explosions.

Other observations allowed to study a peculiar microquasar in M81 called ULS-1. This is a miniature version of the giant quasars observed at the centre of galaxies, containing black holes of millions of solar masses. On the contrary, ULS-1 is thought to be formed of a black hole with a mass similar to the Sun, orbiting around a red giant star. In ULS-1 a polar jet was detected, expanding at relativistic velocities amounting to 17% of the speed of light. Although common in microquasars, this phenomenon is not expected in ULS-1, given its modest energetic X-ray emission.

References:

Liu et al. 2015, *Nature*, 528, 108
Gómez-González et al. 2016, *MNRAS*, 460, 1555



Espectro (línea amarilla) del chorro relativista de ULS-1 en M81 obtenido con OSIRIS en el GTC
OSIRIS at the GTC spectrum (yellow line) of the relativistic jet of ULS-1 in M81.



La imagen más profunda

Observando galaxias débiles

Explorar el Universo profundo es una prioridad para los grandes telescopios como el Gran Telescopio Canarias. Gracias a su superior capacidad colectora de luz y al uso de una sofisticada estrategia de observación, el GTC ha obtenido las imágenes más profundas de galaxias jamás tomadas desde la Tierra. La imagen de la galaxia UG00180 y su entorno, ubicada a una distancia de 500 millones de años luz, es un buen ejemplo de ello. En esta imagen, es posible alcanzar un brillo superficial de 31,5 magnitudes por segundo de arco al cuadrado, una profundidad aproximadamente 10 veces mayor que la lograda por cualquier otra imagen tomada anteriormente desde un telescopio terrestre. Esta imagen permitió detectar y estudiar el débil halo estelar que rodea UG00180, el cual se estima que debió de formarse por la destrucción de otras galaxias más pequeñas según predice el modelo de formación de galaxias aceptado en la actualidad. El rango dinámico de la imagen cubre hasta seis órdenes de magnitud en brillo superficial desde el centro de la galaxia hasta sus regiones periféricas. Otros estudios similares se encuentran actualmente en progreso con el objetivo de explorar la tenue estructura que rodea las galaxias y el medio intergaláctico.

The deepest image

Observing faint galaxies

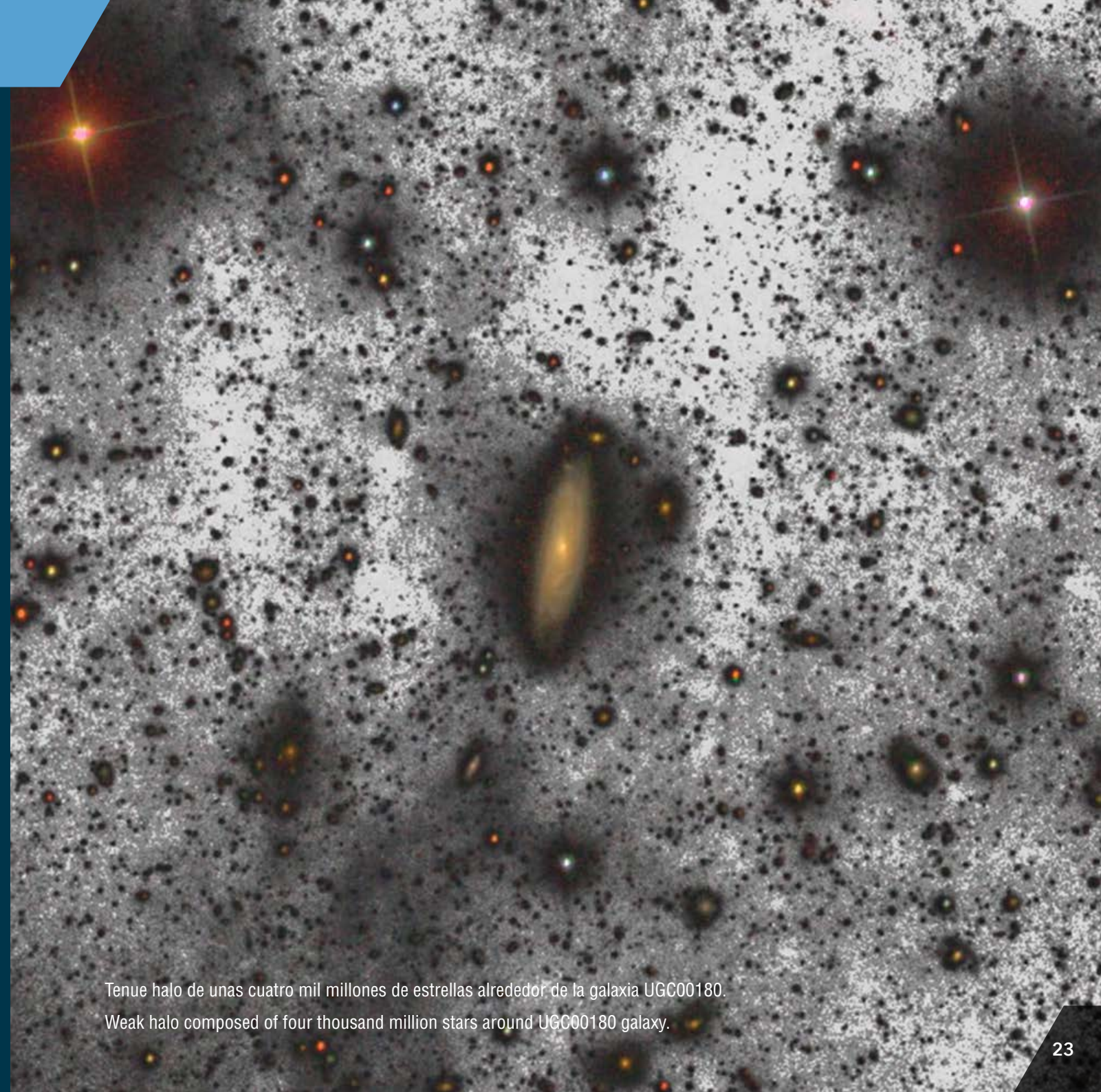
Exploring the deep Universe is a primary scope of large telescopes such as the Gran Telescopio Canarias. Thanks to its superior light collecting area and a sophisticated observing strategy, GTC has been obtaining the deepest images of galaxies taken from Earth. The image of the galaxy UG00180 and its surroundings, located at a distance of 500 million light years, is one example. It reaches a surface brightness of 31.5 magnitudes per square arc second, peering about 10 times deeper into the sky than any other image taken from a ground-based telescope before. This image allowed detecting and studying the faint stellar halo around UG00180, which is predicted to be formed by destruction of other minor galaxies according to the presently accepted model of galaxy formation. The dynamic range of the image covers six orders of magnitude in brightness from the centre of the galaxy to its most peripheral regions. Similar studies are in progress to explore the faint structure around galaxies and the intergalactic medium.

Reference:

Trujillo & Fliri, 2016, ApJ, 823, 123

Tenue halo de unas cuatro mil millones de estrellas alrededor de la galaxia UGC00180.

Weak halo composed of four thousand million stars around UGC00180 galaxy.



Campos frontera

Cosmología

La Cosmología es una de las áreas más innovadoras de la Astrofísica actual. La amplia cantidad de tiempo de observación disponible para la comunidad de usuarios del GTC permite llevar a cabo proyectos ambiciosos en este campo. Un ejemplo notable de ellos es el “survey ultraprofundo de galaxias con absorción enrojecidas y muertas con alto desplazamiento al rojo” (SHARDS, por sus siglas en inglés) y su posterior extensión a los campos frontera del telescopio Hubble (SHARDS-FF). Estos surveys emplean un conjunto de filtros diseñados especialmente para trazar la distribución de energía de las fuentes en función de la longitud de onda. La muestra acumula ya casi 500 horas de datos obtenidos bajo excelentes condiciones meteorológicas. Por lo tanto, se podrán recopilar los datos espectrofotométricos más profundos jamás tomados de galaxias con desplazamientos al rojo significativos. Dado que el survey fue concebido como un proyecto multipropósito, los resultados cubren un amplio abanico de campos científicos. Éstos abarcan desde una determinación precisa de distancias cosmológicas de miles de galaxias hasta un desplazamiento al rojo de $z=7$ (cuando el Universo tenía sólo un 5% de su edad actual), hasta el análisis del contenido estelar de galaxias masivas muertas a $z\sim 2$, cuya mera existencia y sus propiedades representan un gran desafío para el paradigma actual de formación de galaxias.

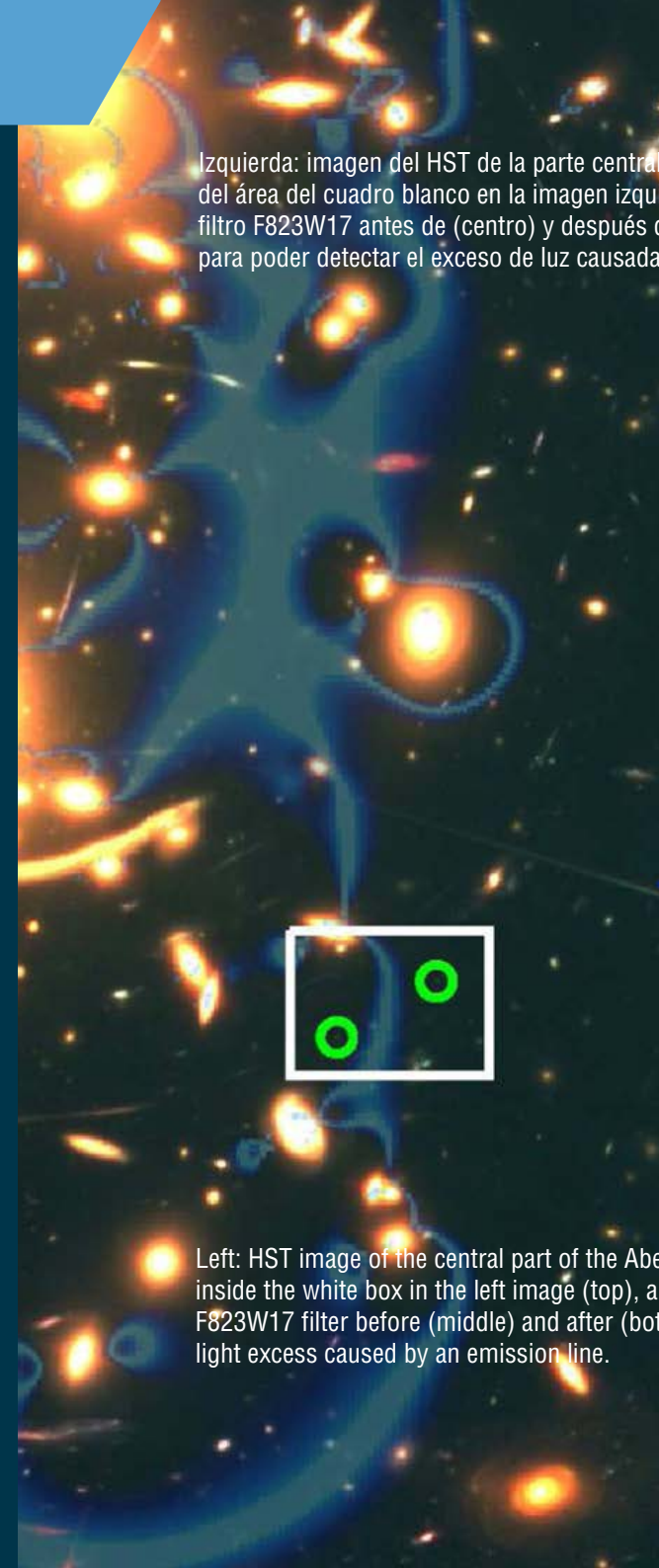
Frontier fields

Cosmology

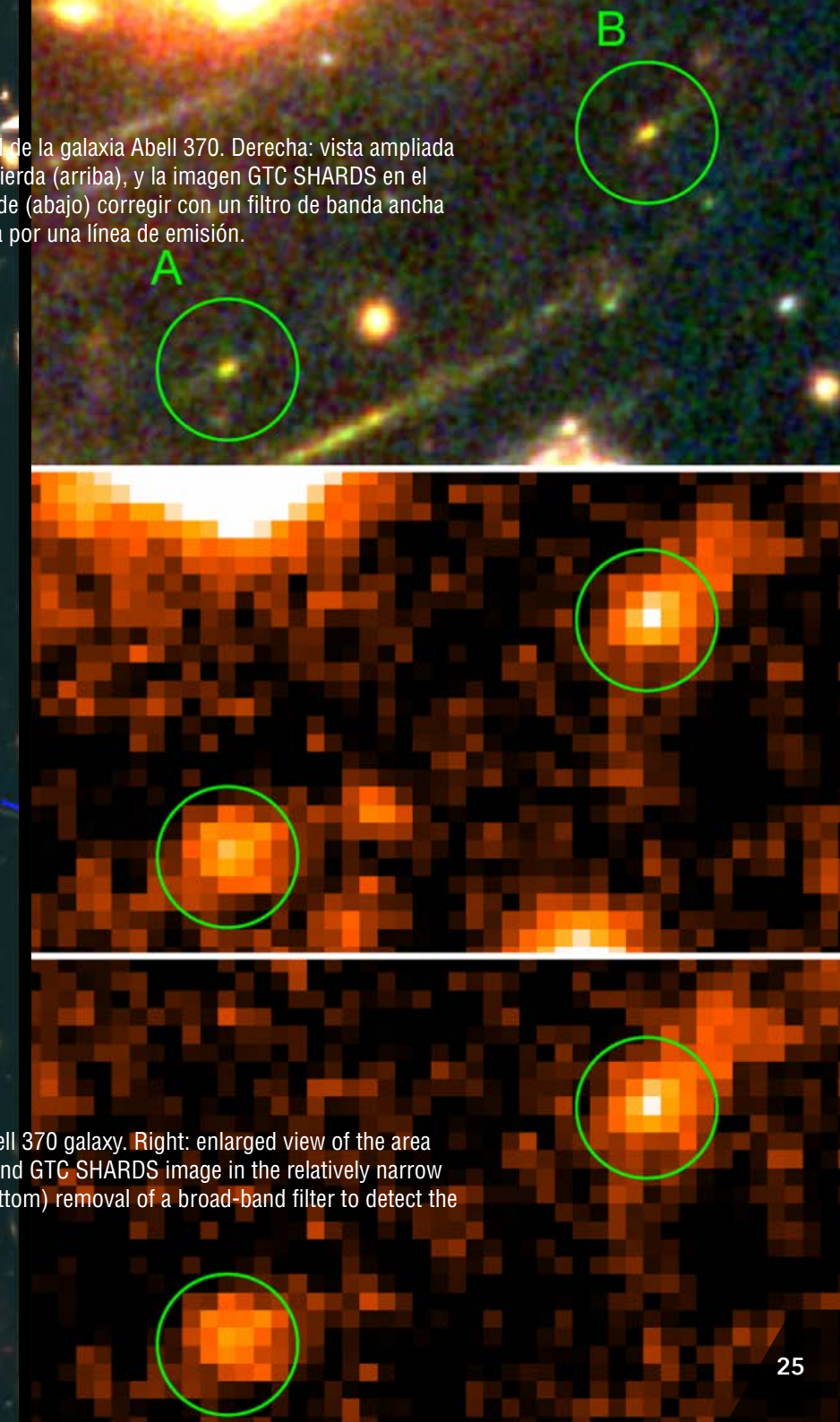
Cosmology is one of the most innovative areas in astrophysics today. The large amount of time available for the GTC community allows ambitious projects to be realised. A distinguished example is the ultra-deep “Survey for High-z Absorption Red and Dead Sources” (SHARDS) and its extension to the “Hubble Frontier Fields” (SHARDS-FF). These surveys make use of a specially designed filter set to trace the energy distribution of the sources as a function of the wavelength. The survey is adding up nearly 500 hours of data under excellent weather conditions. Therefore, it can gather the deepest spectrophotometric data ever taken of galaxies with significant redshifts. As this survey was conceived as a multi-purpose project, results cover a wide range of topics. They span from an accurate determination of cosmological distances of thousands of galaxies up to redshift $z=7$ (when the Universe was only 5% of today’s age) to the analysis of the stellar content of massive dead galaxies at $z\sim 2$, whose existence and properties suppose a major challenge for the current galaxy formation paradigm.

References:

Pérez-González et al. 2013, ApJ, 762, 46
Hernán-Caballero et al. 2017, ApJ, 849, 82



Izquierda: imagen del HST de la parte central de la galaxia Abell 370. Derecha: vista ampliada del área del cuadro blanco en la imagen izquierda (arriba), y la imagen GTC SHARDS en el filtro F823W17 antes de (centro) y después de (abajo) corregir con un filtro de banda ancha para poder detectar el exceso de luz causada por una línea de emisión.



Left: HST image of the central part of the Abell 370 galaxy. Right: enlarged view of the area inside the white box in the left image (top), and GTC SHARDS image in the relatively narrow F823W17 filter before (middle) and after (bottom) removal of a broad-band filter to detect the light excess caused by an emission line.

El mensaje de la gravedad

Materia oscura

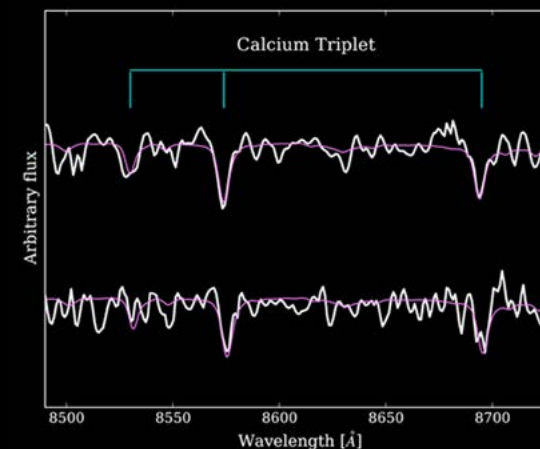
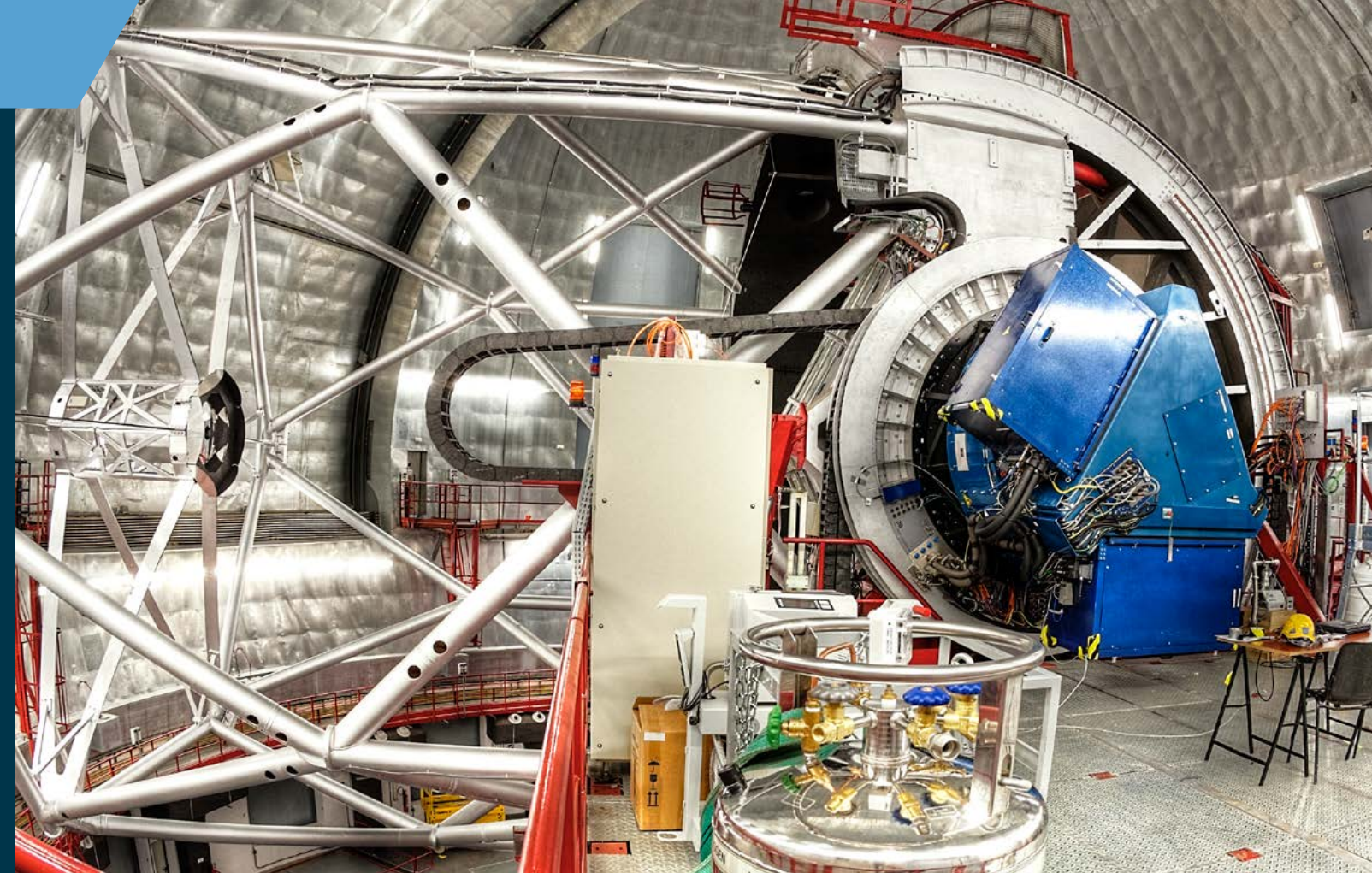
Las galaxias muestran una amplia variedad de formas y estructuras que los astrónomos han estudiado exhaustivamente durante el último siglo. Recientemente ha tenido lugar el descubrimiento de un nuevo tipo de galaxias denominadas “ultra-difusas”, no detectadas con anterioridad porque son muy débiles. Sus estrellas se distribuyen sobre un área muy grande y no se pueden distinguir fácilmente del fondo del cielo. Con el GTC, los astrónomos estudiaron la galaxia ultra-difusa VCC 1287, situada en el cúmulo de Virgo a unos 50 millones de años luz de distancia de la Tierra. En ella, un enjambre de cúmulos globulares, grupos estelares formados por cientos de miles de estrellas, rodean la galaxia. Sus movimientos orbitales en la galaxia fueron empleados para determinar la masa de VCC 1287, encontrándose que estos cúmulos globulares se mueven a gran velocidad, atraídos por un campo gravitatorio sorprendentemente fuerte. Esto, a su vez, implica que existe una gran cantidad de masa de VCC 1287 en forma de materia oscura: por cada kilogramo de material ordinario, VCC 1287 contiene tres toneladas de materia oscura. Si bien se cree que la materia oscura es un componente ubicuo de las galaxias, las galaxias ultra-difusas parecen ser casos excepcionales, ya que parecen componerse esencialmente de materia oscura con muy pocas estrellas.

Only gravity reveals Dark matter

Galaxies display a variety of forms and structures that astronomers have studied extensively over the past century. Only recently, a new type of “ultra-diffuse” galaxies was discovered. This type of galaxies was not noticed before, because they are very faint. Their stars are spread over a very large area and cannot be easily distinguished from the sky background. With the GTC, astronomers studied the ultra-diffuse galaxy VCC 1287, situated in the Virgo Cluster some 50 million light years away. A swarm of globular clusters - stellar groups made up of hundreds of thousands of stars - surround the galaxy. Their orbital motions in the galaxy were used to determine the mass of VCC 1287. It was found that these globular clusters move at high velocity, pulled by a surprisingly strong gravitational field. This in turn implies that a large amount of mass of VCC 1287 exists in the form of dark matter: for each kilogramme of ordinary material VCC 1287 contains three tonnes of dark matter. While dark matter is thought to be a ubiquitous component of galaxies, ultra-diffuse galaxies seem to be exceptional cases being essentially composed of dark matter with very few stars.

Reference:

Beasley et al. 2016, ApJ, 819, L20



Espectro del triplete de calcio de un cúmulo globular de VCC 1287 obtenido con OSIRIS en el GTC (arriba).

Spectrum of the Calcium Triplet of a globular cluster of VCC 1287 obtained with OSIRIS at the GTC (top).

Anillos, cruces y mucho más

Lentes gravitacionales

La teoría general de la relatividad de Albert Einstein predice que la trayectoria de la luz se curva ante la presencia de la materia. Este efecto se puede observar en el caso de la luz emitida desde una galaxia lejana, cuando ésta pasa cerca de un objeto masivo en su camino hacia el observador. El fenómeno, conocido como lente gravitatoria, es comparable al de los rayos de luz desviados por las lentes de vidrio clásicas. Estas lentes gravitatorias actúan como lupas, cambiando el tamaño y la intensidad de la imagen aparente del objeto original. A través de este efecto, usando el GTC se descubrieron dos objetos amplificados por lentes que se encuentran entre las galaxias más brillantes conocidas del Universo temprano. El caso más extremo es el de BG1429 + 1202, una galaxia con una luminosidad intrínseca excepcional, que se encuentra cerca del borde del Universo a una distancia de 11,5 mil millones de años luz, en donde una galaxia elíptica ubicada a una distancia de 5,4 mil millones de años luz está enfocando y amplificando aproximadamente diez veces la luminosidad de la fuente invisible. Otros ejemplos son la confirmación por el GTC de una lente gravitatoria altamente simétrica que recibió el nombre de "Anillo de Einstein Canarias" y el descubrimiento de una nueva Cruz de Einstein (J2211-0350).

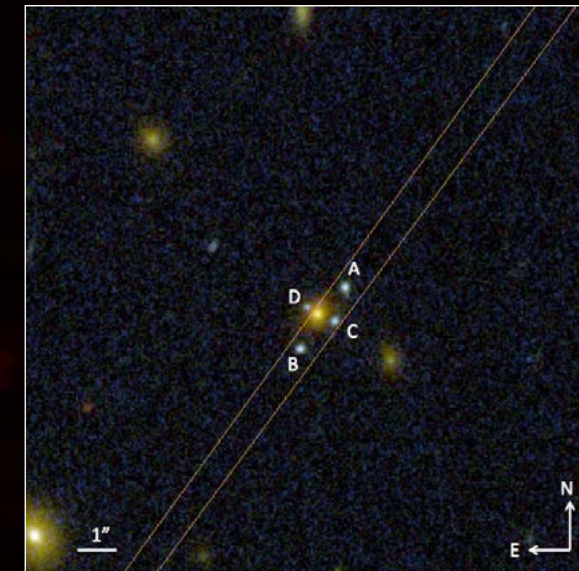
Rings, crosses and a lot more

Gravitational lensing

Albert Einstein's general theory of relativity predicts that the trajectory of light is bended at the presence of matter. This effect can be observed in the case of light emitted from a distant galaxy when it passes near a massive object on its journey towards the observer. This phenomenon, known as gravitational lensing, is comparable to that of light rays being bent by classical lenses of glass. These gravitational lenses act as magnifiers, changing the size and intensity of the apparent image of the original object. Using this effect, astronomers at GTC discovered two lensed objects among the brightest galaxies from the early Universe. The extreme case is that of BG1429+1202, a galaxy with an exceptional intrinsic luminosity, which is located near the edge of the Universe at a distance of 11.5 billion light years. An elliptical galaxy located at a distance of 5.4 billion light years, is focusing and amplifying about ten times the luminosity of the otherwise invisible source. Another examples are the confirmation by GTC of a highly symmetrical gravitational lens that was given the name "Canarias Einstein Ring" or the discovery of a new "Einstein Cross" (J2211-0350).

References:

- Bettinelli et al. 2016, MNRAS, 461, L67*
Díaz Sánchez et al. 2017, ApJL, 843, L22
Marques-Chaves et al. 2017, ApJL, 834, L18
Bettoni et al. 2019, ApJ, 873, L14

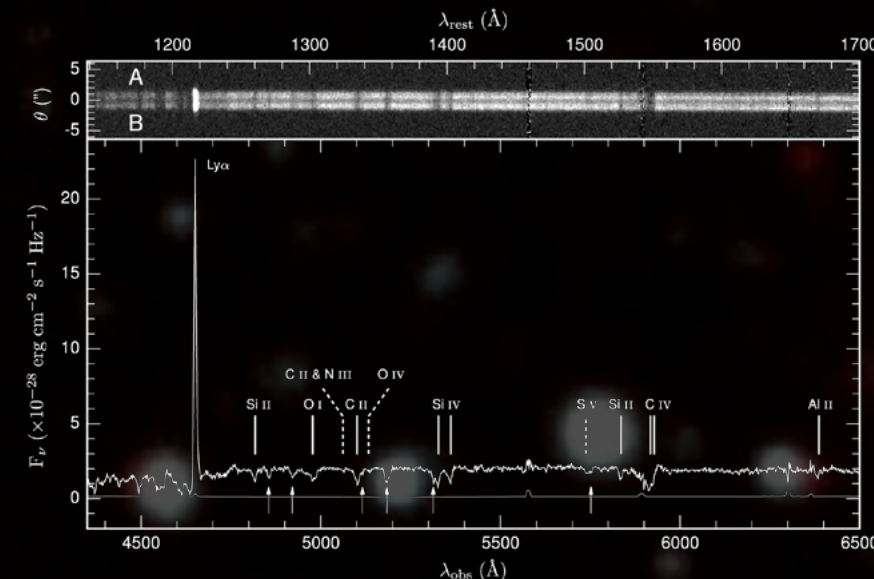


La nueva Cruz de Einstein J2211-0350. Se trata de una galaxia elíptica (objeto amarillo), relativamente cercana, que actúa de lente. Los cuatro objetos azules (marcado ABCD) son las imágenes producidas de una galaxia aproximadamente 3 veces más lejana. Con GTC fue posible aislar y dispersar la luz de los objetos ABC (las líneas marcan la zona estudiada espectroscópicamente), demostrando que pertenecen a la misma fuente de luz.

Crédito: Telescopio Espacial Hubble.

The newly discovered Einstein Cross J2211-0350. An elliptical galaxy (the yellow object) is acting as a lens, producing the four blue objects (marked ABCD) that are the images of a galaxy about 3 times more distant. With GTC it was possible to isolate and disperse the light of objects ABC, demonstrating that they belong to the same light source.

Credit: Hubble Space Telescope.



Espectro de BG1429 + 1202 obtenido con OSIRIS en el GTC. En él se señalan las posiciones de las líneas de absorción interestelar (línea sólida) y fotosférica (línea discontinua) de BG1429 + 1202. Las flechas indican otras estructuras de absorción relacionadas con los sistemas intermedios ubicados a menores desplazamientos al rojo.

Spectrum of BG1429+1202 obtained with OSIRIS at the GTC. Ticks mark the positions of interstellar (solid) and photospheric (dashed) absorption lines of BG1429+1202. Arrows indicate other absorption features related to intervening systems at lower redshifts.

El extremo

Astrofísica de altas energías

El Gran Telescopio Canarias tiene un modo de operación flexible en el que la mayoría de los programas científicos son realizados por astrónomos residentes en modo cola. Esto permite acomodar fácilmente eventos inesperados en la cola de observación. La naturaleza transitoria de muchos fenómenos de altas energías en el Universo justifica sobremanera el uso de esta capacidad. Un ejemplo es el estudio del brillo remanente posterior a los estallidos de rayos gamma (GRB) que son monitorizados con frecuencia por el GTC, como el poco común GRB 101225A, cuyo origen parece ser el resultado de la fusión de una estrella de neutrones con una estrella de helio.

Otro evento destacado fue la detección en 2017 de un neutrino extremadamente energético por el "Observatorio de Neutrinos IceCube" ubicado en la Antártida. Observaciones realizadas a continuación por otras instalaciones de altas energías identificaron la galaxia activa TXS 0506 + 056 como la contrapartida más probable para la producción del neutrino. Espectros muy profundos tomados con el GTC fueron precisamente los que permitieron medir una propiedad tan fundamental de la galaxia anfitriona como lo es su desplazamiento al rojo ($z=0,336$), que se corresponde con una distancia de 6 mil millones de años luz de la Tierra.

Into the extreme

High energy Astrophysics

Gran Telescopio Canarias has a flexible observing mode with most scientific programmes executed by resident astronomers in queue mode. This allows unexpected events to be easily accommodated in the observing queue. The transitory nature of many high-energy phenomena in the Universe gives it a good reason to make use of this capability. One example are afterglows of Gamma-Ray Bursts (GRBs), which are frequently monitored by the telescope, such as the unusual GRB101225A, who is proposed to be the result of the merger of a neutron star with a helium star.

Another distinguished event was the 2017 detection of an extremely energetic neutrino by the "IceCube Neutrino Observatory" in Antarctica. Follow-up observations by other high-energy facilities identified the active galaxy TXS 0506+056 as the most probable counterpart of the neutrino event. Very deep GTC spectra allowed to measure a fundamental property of the galaxy such as its redshift ($z=0.336$), corresponding to a distance of 6 billion light years.

References:

Thöne et al. 2011, *Nature*, 480, 72
Paiano et al. 2018, *ApJL*, 845, L32

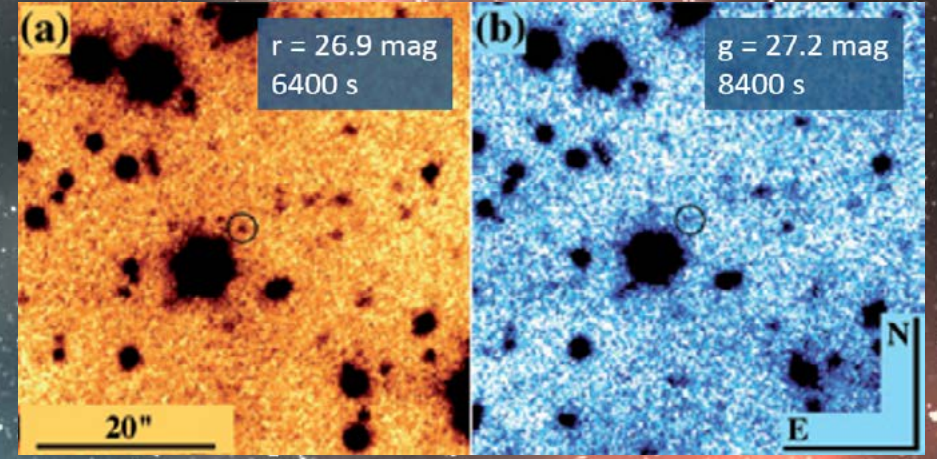
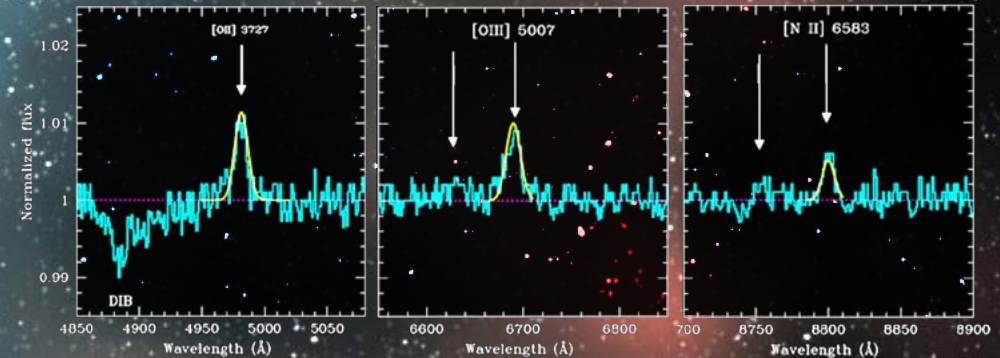


Imagen del GTC de la posible galaxia anfitriona del GRB 101225A (Thöne et al. 2011).
GTC image of the possible host galaxy of GRB 101225A (Thörne et al. 2011).

Líneas de emisión de la galaxia activa TXS 0506 + 056. Su detección requirió un total de 14 horas de integración con OSIRIS en el GTC (Paiano et al. 2018).

Emission lines from the active Galaxy TXS 0506 + 056. Their detection required a total of 14 hours of integration with OSIRIS at the GTC (Paiano et al. 2018).



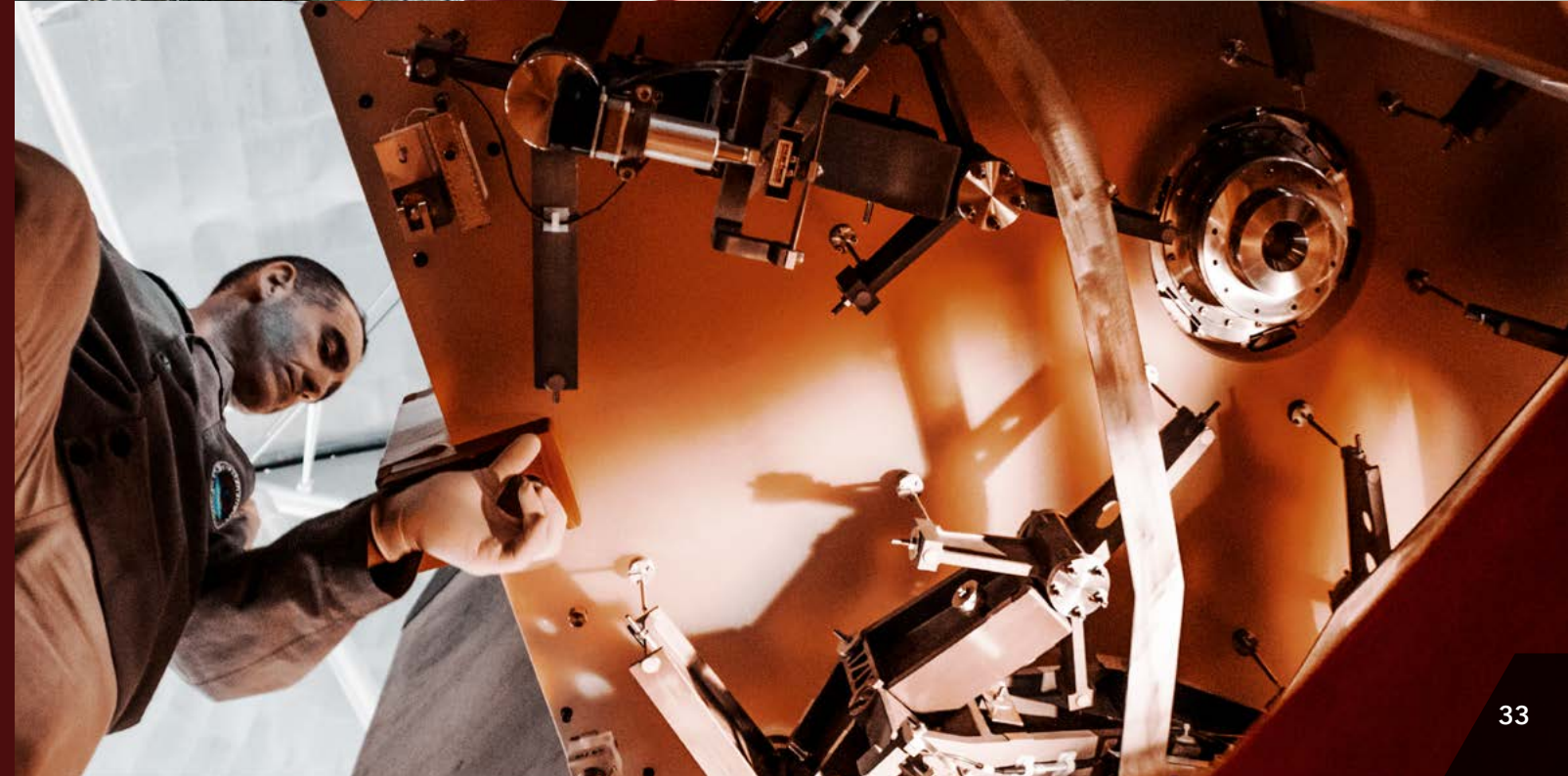
En nuestras manos

El funcionamiento del telescopio

El Gran Telescopio Canarias trabaja las 24 horas del día, los 7 días de la semana y los 365 días del año. Su éxito es el resultado del gran esfuerzo, dedicación y compromiso de su personal. Un equipo de 65 personas compuesto por astrónomos, ingenieros, técnicos y personal administrativo operan, mantienen y desarrollan el telescopio dentro de la empresa pública GRANTECAN. Cada día, un equipo de ingenieros y técnicos asciende desde el nivel del mar hasta el Observatorio. Resuelven problemas, implementan nuevas funcionalidades y preparan el telescopio para realizar las observaciones astronómicas. Durante la noche, los operadores del telescopio y los astrónomos de soporte ponen en marcha el telescopio ejecutando los programas científicos, seleccionados tras pasar una competitiva criba entre un gran número de propuestas de la comunidad científica del GTC. El telescopio opera principalmente en modo cola, donde los programas de observación se ejecutan de forma dinámica de acuerdo con su valoración científica y las condiciones meteorológicas reinantes en cada momento. El GTC fue concebido como una instalación de uso general y versátil, con la capacidad de albergar varios instrumentos simultáneamente. Con ellos, es posible cubrir un rango espectral desde 360 nanómetros hasta 25 micras con una amplia variedad de modos de observación disponibles que incluyen imagen directa, espectroscopía y polarimetría.

It's all about people Making the telescope work

The Gran Telescopio Canarias is a machine working 24 hours a day, 7 days a week and 365 days in the year. Its success is the result of the strong effort, dedication and commitment of its staff. 65 people – astronomers, engineers, technicians and administrative staff – operate, maintain and develop the telescope within the GRANTECAN public company. Each day, a team of engineers and technicians drives up from sea level to the Observatory. They solve problems, implement new functionalities and prepare the telescope for its astronomical observations. During the night, the telescope operator and support astronomer run the telescope executing the scientific programmes, which are competitively selected among a large number of proposals from the GTC scientific community. The telescope is operated mainly in a queue-scheduled mode, where science programmes are dynamically executed according to their scientific ranking and weather conditions. GTC was conceived as a general-purpose, versatile facility with the capability to host several instruments simultaneously. They cover a spectral range from 360 nanometres to 25 microns in a variety of observing modes that include imaging, spectroscopy and polarimetry.



Hablemos del espacio

Acercando la Astronomía al público

La capacidad de inspiración y la innata curiosidad sobre el mundo en el que vivimos es lo que atrae a las personas hacia la Astronomía y el Espacio, brindando oportunidades para la divulgación y educación. Los medios y el interés público en la Astronomía nunca han sido tan altos y los principales descubrimientos son noticias de primera plana en todo el mundo. Los observatorios se encuentran entre los canales naturales a través de los cuales el flujo de la información astronómica se difunde al público en general. Comunicar los descubrimientos científicos y los avances tecnológicos con la sociedad es, por tanto, un aspecto esencial de la misión de Grantecan. Esto lo logramos a través de una serie de acciones como comunicados de prensa, charlas, talleres, conferencias, exposiciones y muchas otras actividades durante todo el año. A pesar de su remota ubicación, más de 8.000 personas visitan el Gran Telescopio Canarias cada año. Se ejerce un gran esfuerzo en el programa educativo “Nuestros alumnos y el ORM”, que llega a unos 800 estudiantes en La Palma cada año y consiste en charlas en escuelas y visitas al Observatorio. Las estancias de estudiantes de escuelas y jóvenes graduados en Astronomía o Ciencias Técnicas también muestran la implicación del GTC con la sociedad. Además, la visibilidad pública del GTC atrae eventos destacados que se celebran con frecuencia en el Observatorio.

Let's talk about space

Communicating Astronomy with the public

It is the inspirational factor and innate curiosity about the world in which we live, that draws people towards astronomy and space, providing rich opportunities for outreach and education. Media and public interest in astronomy have never been higher and major discoveries are front-page news throughout the world. Observatories are among the natural conduits through which the flow of astronomical information is disseminated to the wider public. Communicating scientific discoveries and technological developments with the public is therefore an essential aspect of the mission of Grantecan. We achieve this through a portfolio of actions like press releases, talks, workshops, conferences, exhibitions and many other activities around the year. In spite of its remote location, more than 8,000 people visit the Gran Telescopio Canarias every year. A strong educational effort is put on the programme “Nuestros alumnos y el ORM”, which reaches around 800 students in La Palma each year and consists of talks in schools and visits to the Observatory. Internships of students from schools as well as young graduates in astronomy or technical sciences also show the implication of Grantecan with society. Moreover, the public visibility of the GTC attracts outstanding events that are frequently held at the Observatory.



Una nueva era

El futuro del GTC

Han pasado diez años desde que el Gran Telescopio Canarias comenzara sus operaciones científicas. En 2022, se completará el plan de instrumentación actual, y hasta siete instrumentos científicos llenarán el conjunto de estaciones focales del GTC. Éstos garantizarán la competitividad científica del telescopio durante muchos años, teniendo en cuenta también que el GTC seguirá siendo el mayor telescopio óptico en funcionamiento hasta alrededor de 2025. Junto con los instrumentos, otro paso importante será la instalación de un sistema de óptica adaptativa (GTCAO) que compensará las turbulencias atmosféricas en el campo de visión. Está previsto que GTCAO funcione en el infrarrojo cercano (0,9-2,5 micras). El sistema operará con un sistema de estrella guía natural inicialmente y con un sistema de guía láser uno o dos años más tarde.

Para seguir siendo competitivos y definir el papel del GTC en la era de los telescopios extremadamente grandes, hemos empezado a pensar en el futuro y hemos abierto una convocatoria para la próxima generación de instrumentos. Con esta disposición, continuamos teniendo un profundo impacto en el desarrollo de Gran Telescopio Canarias y podremos contribuir a los avances mundiales de Astronomía en las próximas décadas.

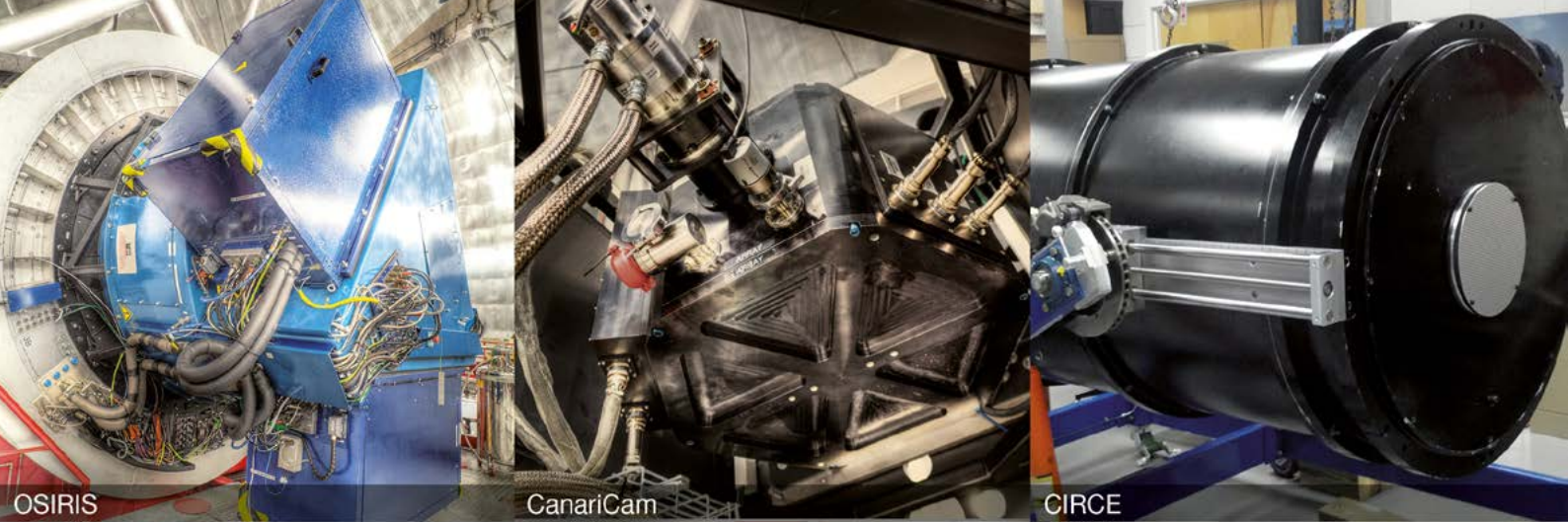
A new era

The future of GTC

Ten years have passed since Gran Telescopio Canarias has started with its operations. In 2022, the present instrumentation plan will be completed, and up to seven science instruments will fill the large suite of focal stations on the GTC. They will guarantee the scientific competitiveness of the telescope for several years to come, also considering that the GTC will continue to be the largest optical telescope in operation until around 2025. Together with the instruments, another important step will be the installation of an adaptive optics system (GTCAO) in order to compensate atmospheric turbulences in the field of view. GTCAO is planned to work in the Near Infrared (0.9-2.5 microns). The system will operate initially with a Natural Guide Star and with a Laser Guide Star one or two years later.

In order to stay competitive and define the role of the GTC in the era of the extremely large telescopes, we have started to think about the future and opened a call for the next generation of instruments. With this provision we continue making a profound impact on the development of Gran Telescopio Canarias and will be able to contribute delivering world-class astronomy in the coming decades.





OSIRIS

CanariCam

CIRCE



EMIR

MEGARA

HIPERCAM



HORuS

MIRADAS

FRIDA



Unión Europea
Fondo Europeo
de desarrollo Regional
"Una manera de hacer Europa"

Izquierda: Instrumentos del GTC.

Left: GTC instruments.

FINANCIACIÓN DEL GTC

El Gran Telescopio Canarias está financiado por la Comunidad Autónoma de Canarias y por el Estado Español (cofinanciado con fondos FEDER, Fondos Europeos de Desarrollo Regional), con la participación internacional de instituciones de México (IA-UNAM, Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México; INAOE, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, ambos cofinanciados por el CONACYT, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México) y de Estados Unidos (Fundación para la investigación de la Universidad de Florida).

El Gran Telescopio Canarias forma parte de la red de Infraestructuras Científicas y Técnicas Singulares (ICTS) de España.

Textos: Peter Habison y Romano Corradi.

Traducción: Silvia Granja, Yoel Fernández Ballega y Antonio Cabrera.

Coordinación: Carmen del Puerto.

Diseño: Gabriel Pérez Díaz.

Imágenes: Autores, Inés Bonet, Pablo Bonet, Daniel López, Pablo López, Gabriel Pérez Díaz.

Edición: Unidad de Comunicación y Cultura Científica (UC3) del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC).

Depósito Legal: TF 1099-2018

GTC FUNDING

The GTC is funded by the regional government of the Canary Islands and the Spanish Government (cofunded by European Regional Development Funds-ERDF), with international participation from Mexico (IA-UNAM, National Autonomous University of Mexico, and INAOE, Institute for Astrophysics, Optics and Electronics, partly financed by Mexico's National Council of Science and Technology-CONACYT) and the United States (University of Florida Research Foundation).

The Gran Telescopio CANARIAS (GTC) is part of the Spanish Unique Scientific And Technical Infrastructures (ICTS) network.

