



# GTC

**gran ciencia** para  
**un gran telescopio**

**big science** for  
**a big telescope**

El Gran Telescopio CANARIAS (GTC), con sus 10,4 m de espejo primario segmentado, es uno de los telescopios ópticos-infrarrojos más grandes y avanzados del mundo. Inició su fase de producción científica en el año 2009 y, desde entonces, ha demostrado sus grandes capacidades y su excelente calidad y potencial científico.

El telescopio se encuentra en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla canaria de La Palma, conocido por sus excelentes condiciones de observación gracias a la transparencia y estabilidad de sus cielos nocturnos y a la existencia de la Ley del Cielo, que lo protege de la contaminación lumínica.

The Gran Telescopio CANARIAS, also known as the GTC is, with its 10.4 m segmented mirror, one of the largest and most advanced optical-IR telescopes in the world. The GTC entered its scientific production phase in 2009, and since then has shown its excellent quality and scientific potential.

The telescope is located at the Roque de Los Muchachos Observatory, on the island of La Palma, well known for its excellent observing conditions due to the generally good transparency and stability of the night sky and the existence of a law to protect the sky against light pollution.



## el telescopio

Los 36 segmentos hexagonales del GTC proporcionan un área colectora de luz equivalente a la de un espejo monolítico circular de 10,4 m de diámetro. Estos segmentos actúan como una sola superficie gracias al alineamiento óptico extremadamente preciso que alcanzan los espejos. Al tratarse de un diseño Ritchey-Chrétien, la calidad de imagen del telescopio es excelente, con dos focos Nasmyth, un foco Cassegrain y un máximo de cuatro focos Cassegrain doblados que cubren campos entre 5 y 20 minutos de arco.

Su rendimiento básico de apuntado, seguimiento y guiado es muy bueno, alcanzando una precisión de unos 2 segundos de arco (rms) y errores de guiado menores que 0,1 segundos de arco. La calidad de imagen del GTC en el plano focal está en consonancia con las excelentes características del cielo del Observatorio donde está instalado.

El telescopio permanece operativo durante todas las noches del año. La operación científica está basada, principalmente, en el sistema de "observación por colas", que hace que el programa sea flexible y se adapte a las condiciones, optimizando así el tiempo de observación.

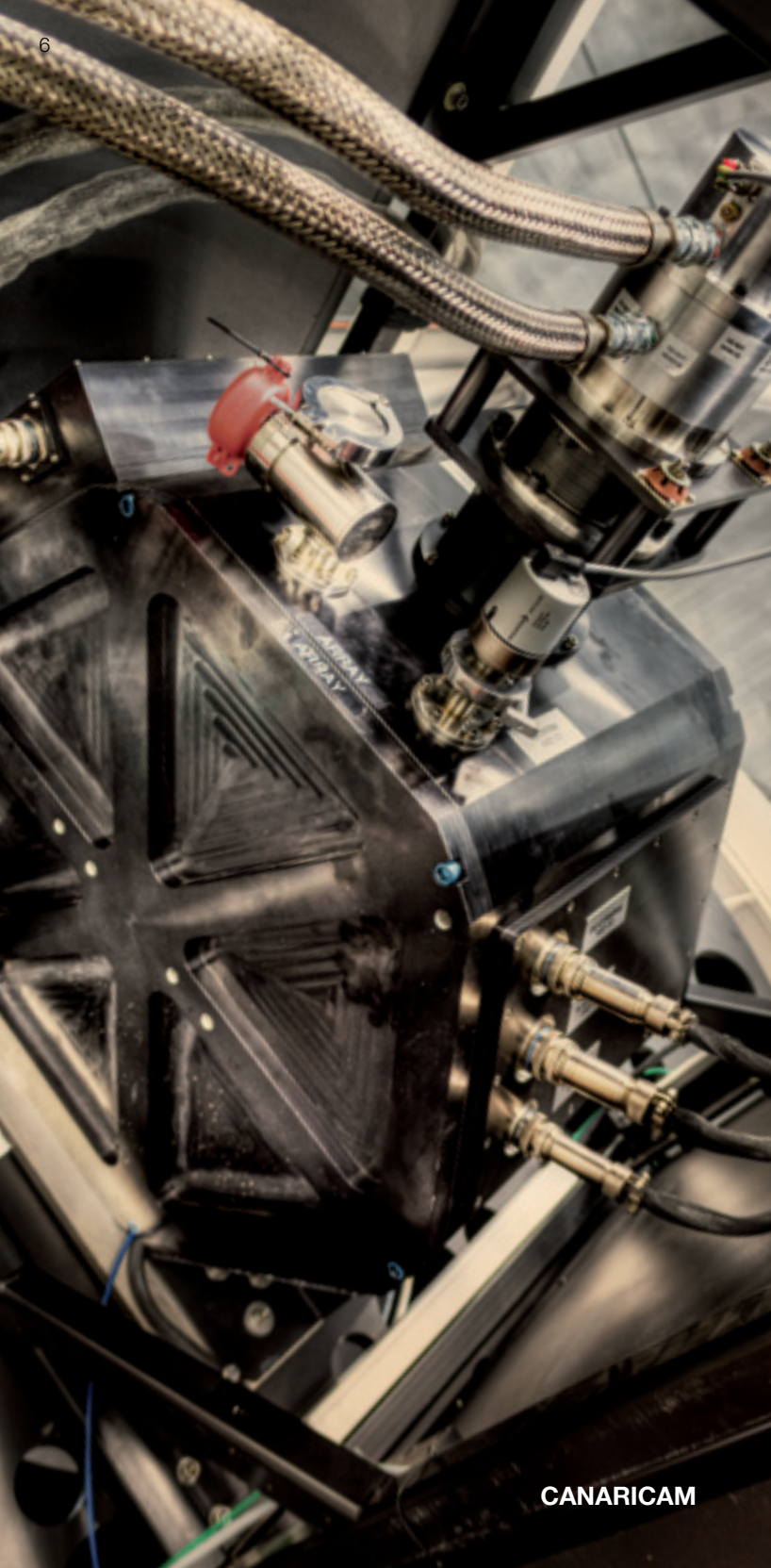
## the telescope

The 36 hexagonal segments of the GTC provide an effective collecting area equivalent to that on a 10.4 m diameter single monolithic mirror. These segments act as a single mirror surface thanks to the extremely precise optical alignment that is achieved. Being of a Ritchey-Chrétien design, the telescope's image quality is outstanding and caters for two Nasmyth foci, a Cassegrain focus, and up to four folded Cassegrain foci with fields ranging from 5 to 20 arc minutes

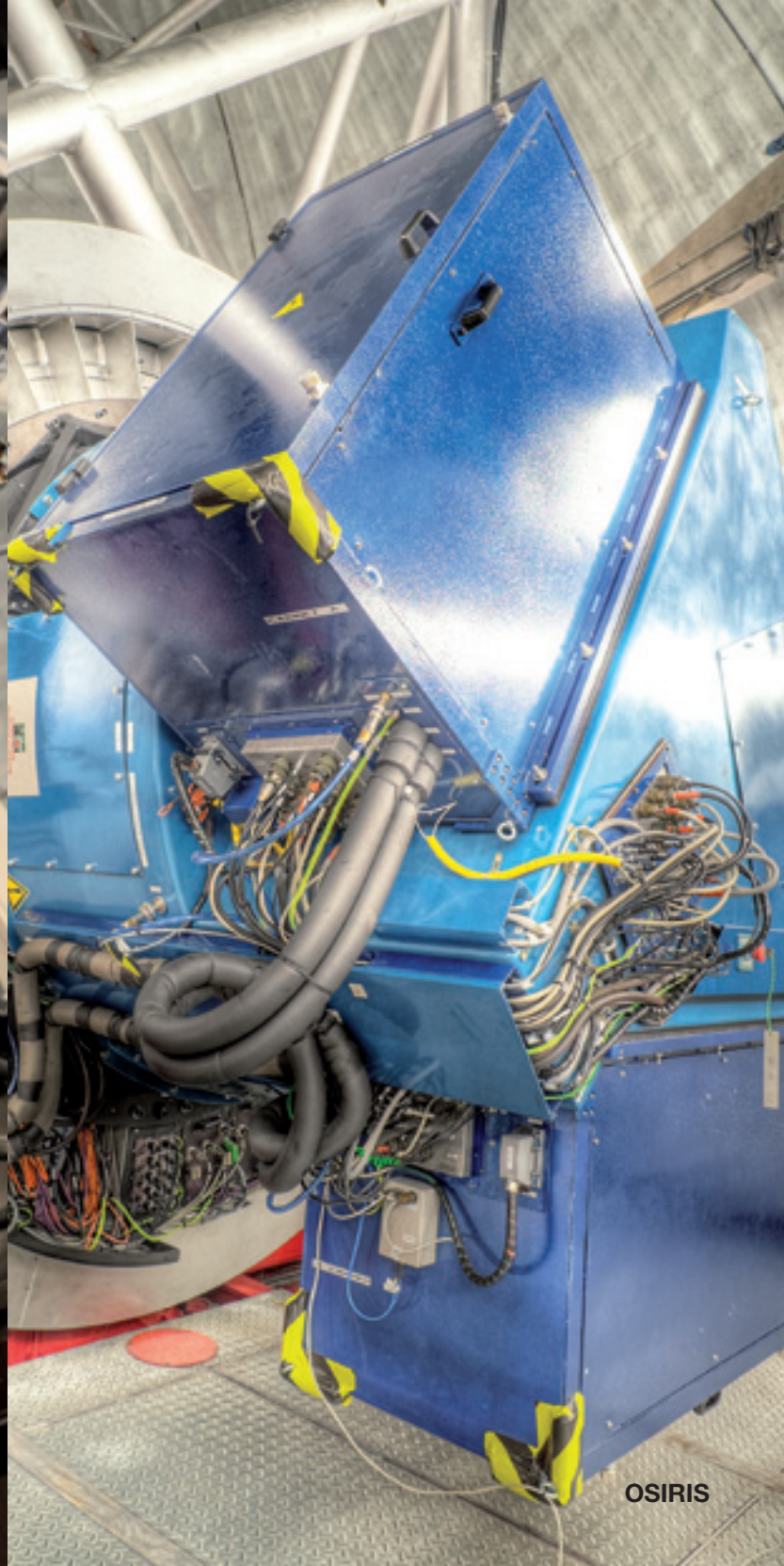
Basic performance of pointing, tracking and guiding of the telescope is very good, achieving a typical rms pointing accuracy of about 2 arc seconds and typical guide errors better than 0.1 arc second. The GTC's delivered image quality at the focal plane closely follows the very good site seeing characteristics.

The telescope is operational every night of the year. Scientific operation is primarily focused on a queue-scheduling methodology whereby the observing programme is flexible and adapted to obtain maximum benefit from the prevailing observing conditions.





CANARICAM



OSIRIS

## instrumentos actuales

El GTC cuenta actualmente con dos instrumentos operativos: OSIRIS (un instrumento óptico que hace imagen y espectroscopía) y CanariCam (una cámara-espectrógrafo-polarímetro que trabaja en el rango del infrarrojo medio). Cada uno de ellos está instalado en uno de los focos de las plataformas Nasmyth.

OSIRIS fue el primer instrumento acoplado al GTC. La versatilidad y eficiencia de OSIRIS permiten usarlo para un amplio rango de observaciones científicas, desde estudios detallados de objetos cercanos a la Tierra hasta la detección de galaxias lejanas en el universo temprano. El instrumento dispone de una gran variedad de filtros de banda ancha y media, así como de dos unidades de filtros sintonizables de banda estrecha. La capacidad espectroscópica de OSIRIS incluye espectroscopía de rendija larga, con resoluciones de hasta  $R = 2,500$ , y espectroscopía multiobjeto, que permite al usuario diseñar sus propias máscaras multirrendija, lo que facilita la obtención de espectros de decenas de objetos simultáneamente.

La eficiencia en el modo de imagen con banda ancha alcanza valores tan altos como 29,2 magnitudes de punto cero en la banda  $r'$  de Sloan. Del mismo modo, en el modo de espectroscopía, la eficiencia de extremo a extremo es tal que se logra una relación señal a ruido de 5 en una hora de exposición, para una fuente con magnitud AB de 24, con espectroscopía de baja resolución y bajo condiciones normales de observación.

El segundo instrumento, CanariCam, es una cámara y espectrógrafo que trabaja en las bandas N y Q del espectro. Es uno de los pocos instrumentos de su tipo que existen en el mundo, especialmente en un gran telescopio como el GTC. En particular, su capacidad para hacer polarimetría es una característica única. Al trabajar en el límite de difracción del telescopio, el instrumento ofrece de forma rutinaria imágenes con una resolución espacial de hasta 0,2 segundos de arco, sin la necesidad de óptica adaptativa. La sensibilidad de CanariCam es muy alta (1 mJy para una detección de 5-sigma en 30 minutos de exposición en modo imagen y 55 mJy de sensibilidad equivalente en el modo espectroscópico). Los programas de observación con este instrumento son también muy variados, desde el estudio de objetos del Sistema Solar hasta regiones oscuras de formación estelar y núcleos activos de galaxias.

## present instruments

There are currently two instruments operational at the GTC: OSIRIS (an optical imager and spectrograph) and CanariCam (a mid-IR imager-spectrograph-polarimeter). Each occupies one of the Nasmyth focal stations.

OSIRIS was the first instrument to become available at the telescope. The versatility and efficiency of OSIRIS imply that it can be used for a very wide range of science observations. Science programmes that are being carried out with OSIRIS vary from detailed studies of near-Earth objects to the detection of galaxies in the early universe. The instrument hosts a large variety of wide- and medium-band filters, as well as two narrow-band tunable filter units. The spectroscopic capability of OSIRIS includes standard long-slit grism spectroscopy, with resolution up to  $R = 2500$ , and multi-object spectroscopy, providing for custom-made design of multi-slit masks which allow us to take spectra of tens of objects simultaneously.

Imaging efficiency in the broad spectral bands enables us to obtain a magnitude as faint as 29.2 in the Sloan  $r'$  band. Similarly, in spectroscopic mode, end-to-end efficiency is such that one achieves a S/N of 5 in one hour on a target with an AB magnitude of 24 for low-resolution spectroscopy under normal, good observing conditions.

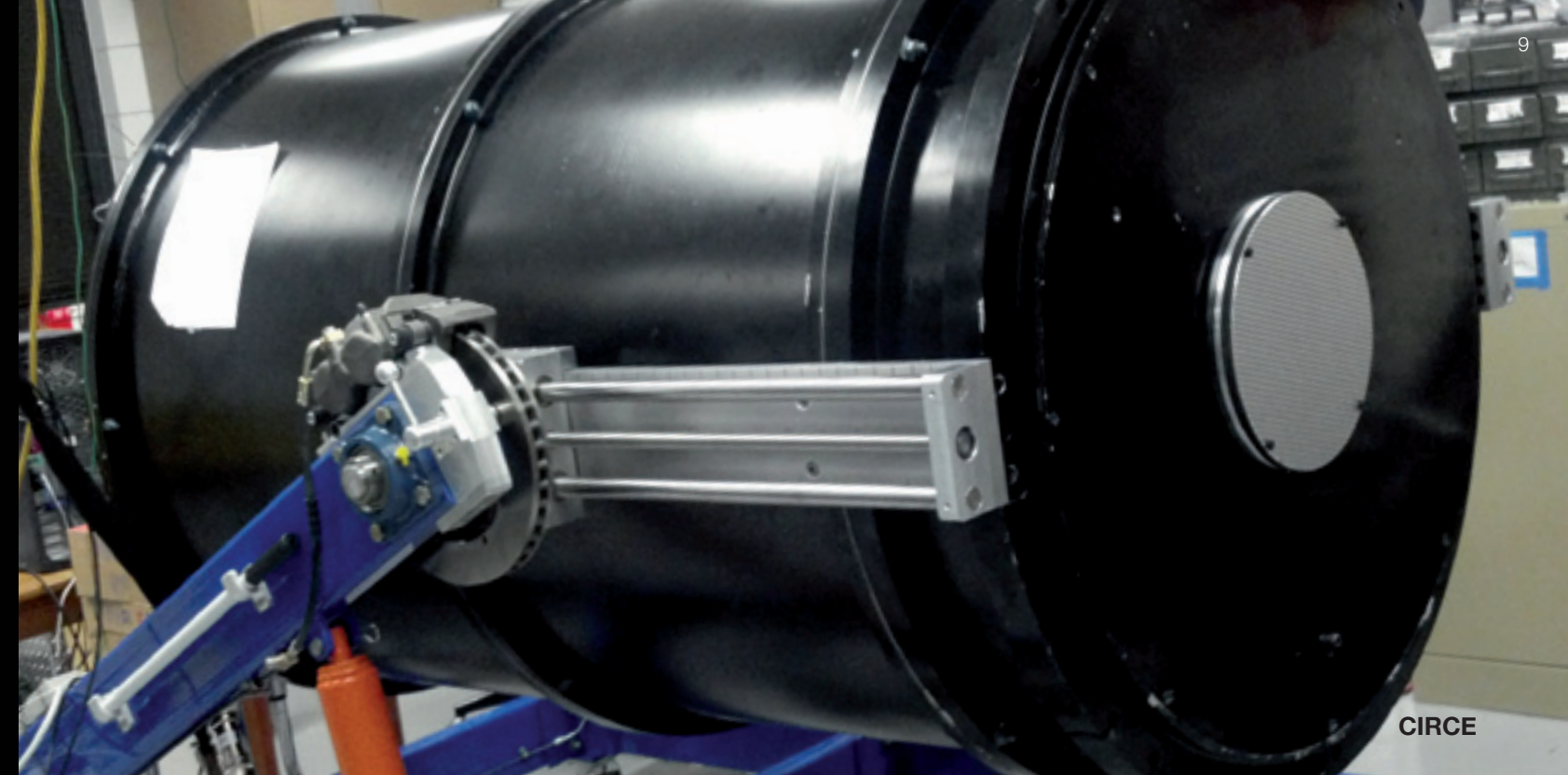
The second instrument, CanariCam, is an imager and spectrograph working in the N- and Q-bands. It is one of the very few instruments of this kind in the World, especially on a large telescope like the GTC. In particular its polarimetric capability is a unique feature. Working at the diffraction limit of the telescope implies that the instrument routinely delivers images with a spatial resolution as fine as 0.2 arc seconds, without the need of adaptive optics. The detection sensitivity of CanariCam is very high (1 mJy for a 5-sigma detection in 30 minutes on-source in imaging mode, and 55 mJy for the equivalent sensitivity in spectroscopy). Observations with CanariCam also cover a wide range of programmes, from solar-system objects to obscured star-forming regions or the study of active galactic nuclei (AGN).

## instrumentos futuros

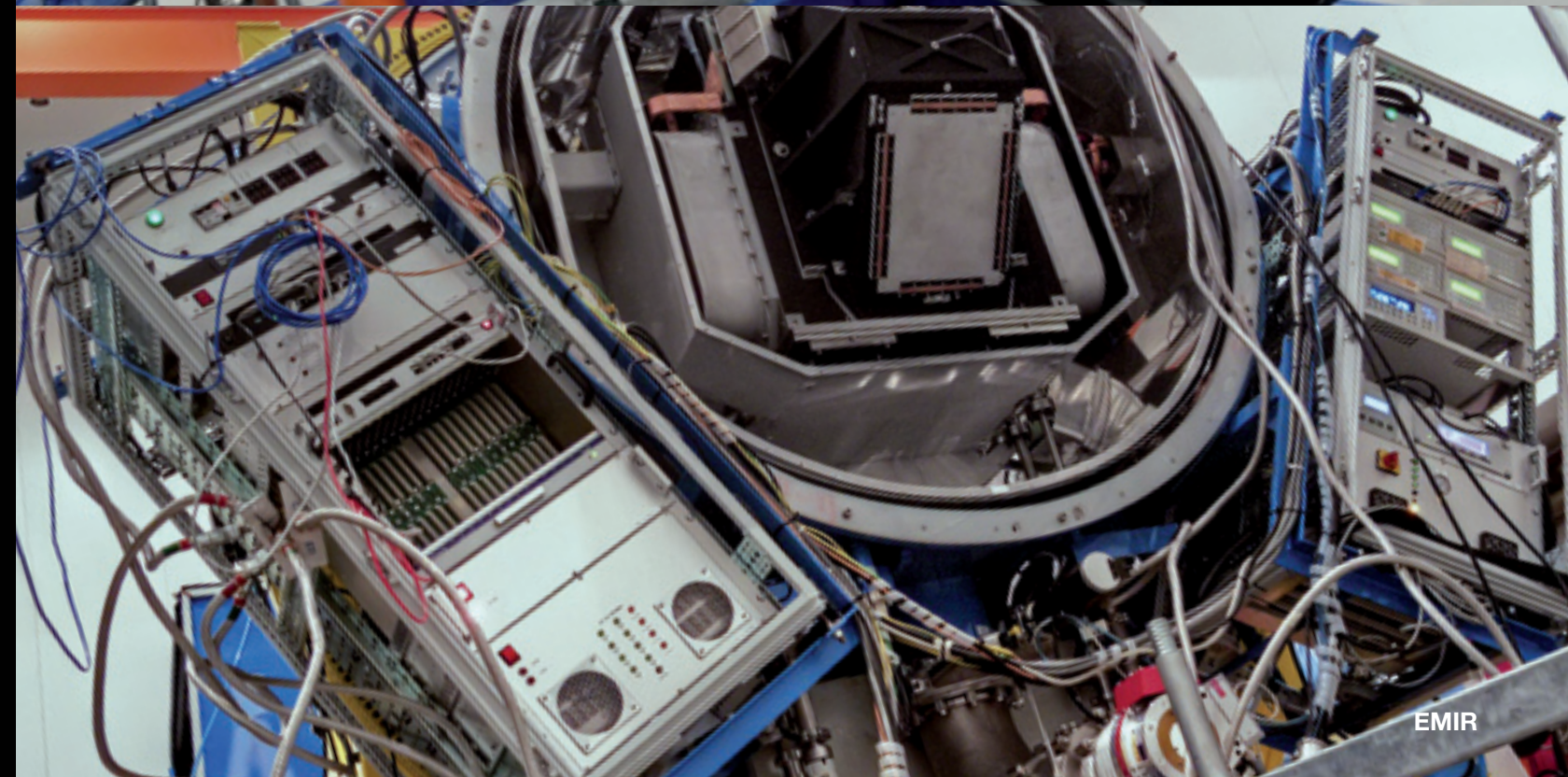
El éxito científico de un telescopio depende de su equipo instrumental. De hecho, el GTC estará dotado con un impresionante conjunto de instrumentos actualmente en desarrollo.

El primero en aparecer será CIRCE, una unidad de imagen y polarimetría en el infrarrojo cercano, que proporcionará una excelente calidad de imagen de gran campo de 3,4 minutos de arco. CIRCE estudiará el centro galáctico y los campos magnéticos de nuestra galaxia, los microcuásares, las estrellas masivas, las explosiones de rayos gamma, las estrellas jóvenes y la formación de planetas. Fuera de la Vía Láctea, los objetos de estudio de CIRCE serán los núcleos activos de galaxias, los cuásares y el universo temprano.

El siguiente instrumento en llegar al GTC será EMIR, especialmente diseñado para hacer imagen y espectroscopía en el rango del infrarrojo cercano. Será capaz de obtener espectros de hasta 55 objetos diferentes al mismo tiempo, utilizando una unidad multirrendija configurable criogénica.



CIRCE



EMIR

## future instruments

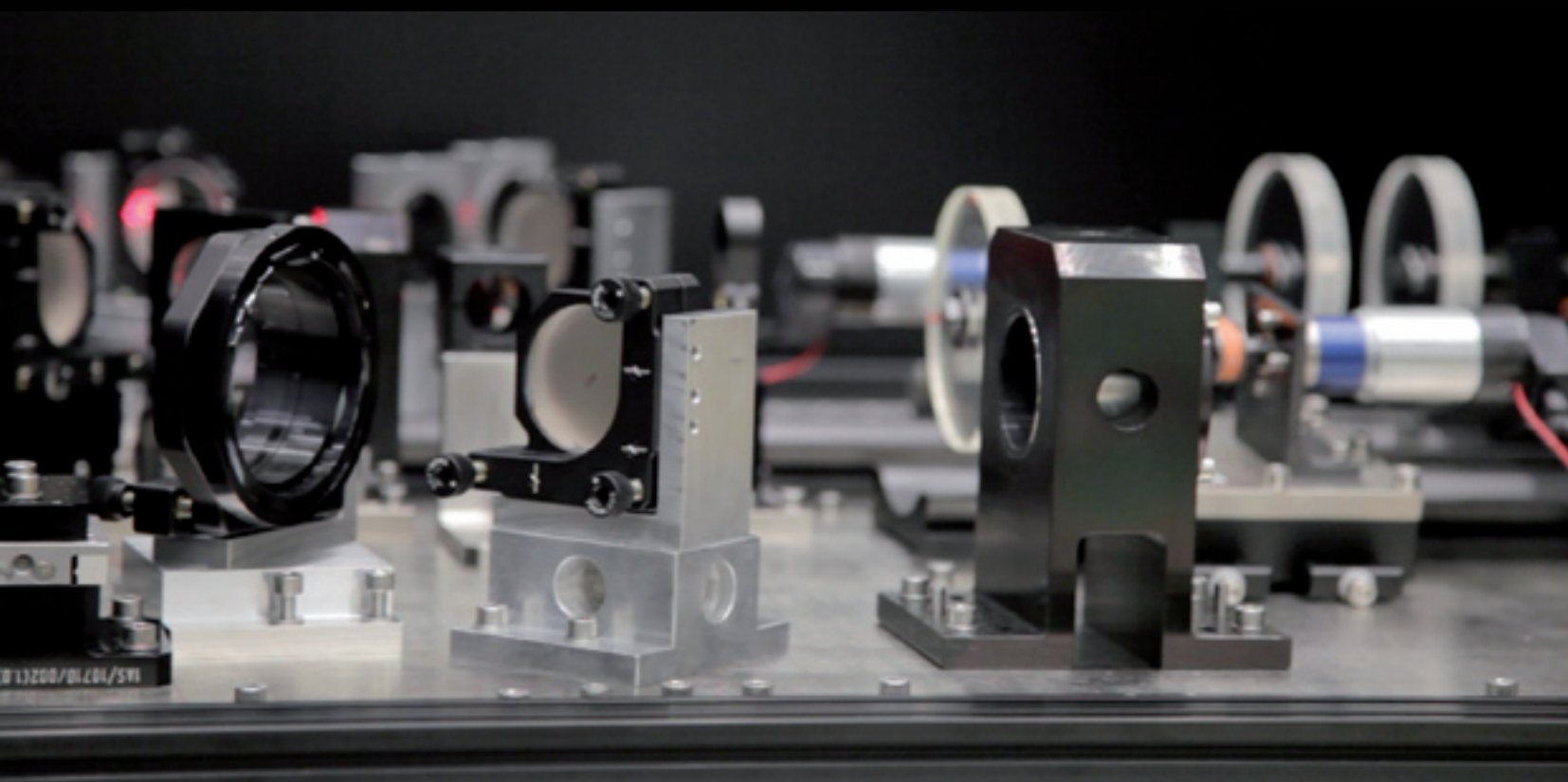
The scientific success of any telescope depends on the instrumentation suite it hosts. Therefore, the GTC has an impressive set of instruments in the pipeline.

The first instrument to appear will be CIRCE, a near-infrared imaging and polarimetry unit, which is expected to deliver excellent image quality over a wide field of 3.4 arc minutes. CIRCE will study the galactic centre and the galactic magnetic fields, as well as microquasars, massive stars, gamma ray bursts, young stars and planet formation. Out of the Galaxy, CIRCE's goals will be studying AGNs, quasars and the early universe.

The next major new work-horse instrument arriving at the GTC will be EMIR, which will deliver important imaging and spectroscopic capability also for the near-IR wavelength range. It will be capable of obtaining spectra of up to 55 different objects at the same time, using a cryogenic configurable multi-slit unit.

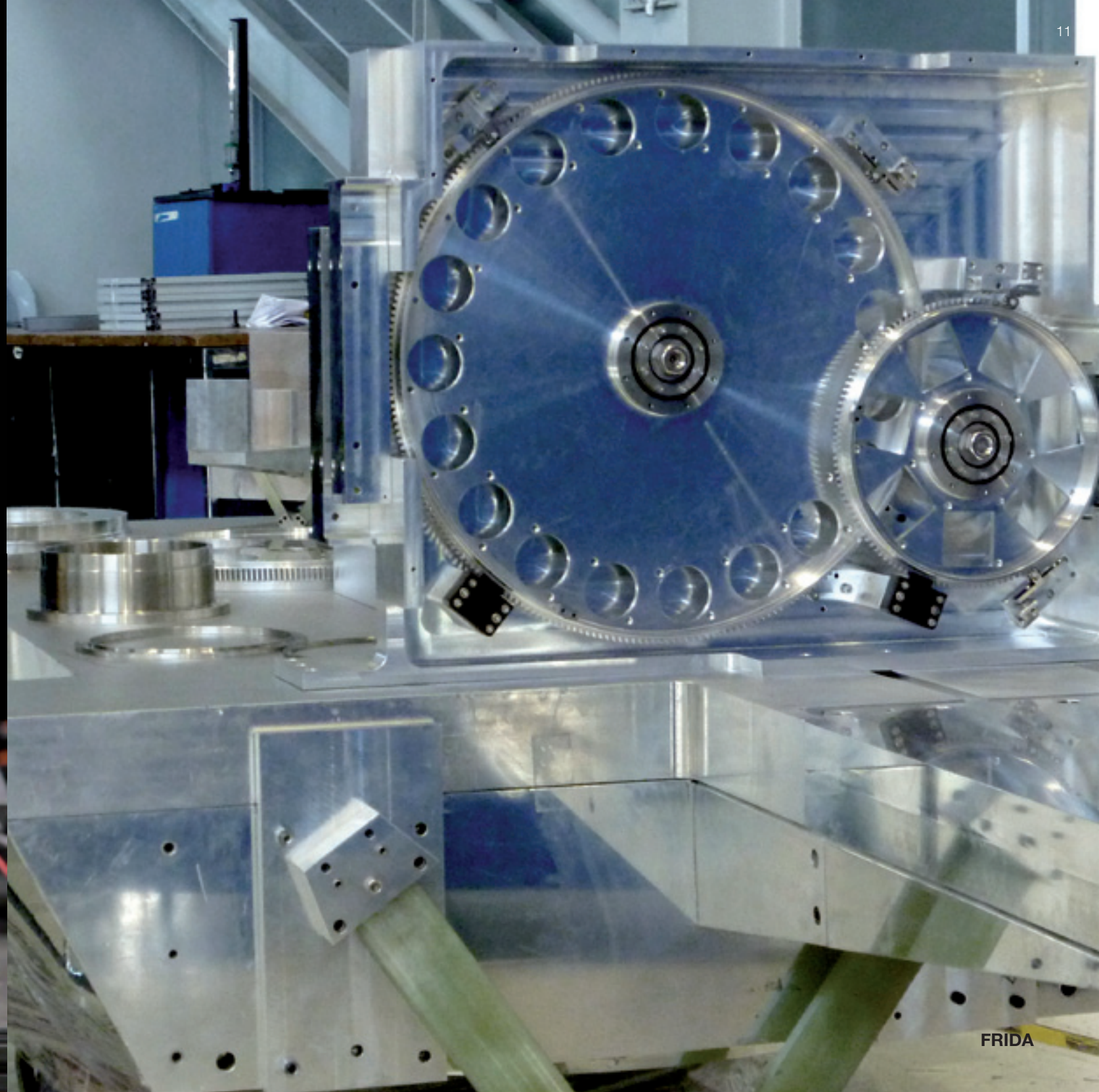
## instrumentos futuros

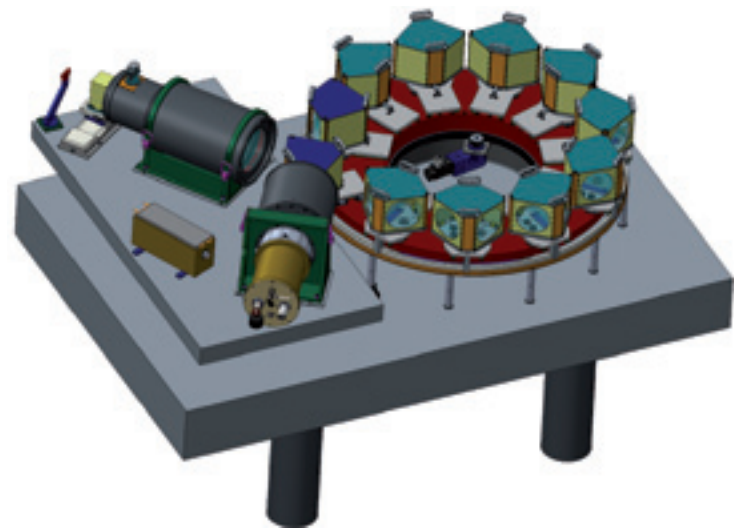
El GTC está desarrollando asimismo el sistema de Óptica Adaptativa (OA): las perturbaciones causadas por la atmósfera al pasar la luz a través de ella, serán eliminadas en tiempo real con este sistema. Inicialmente, el plano focal corregido llegará a FRIDA, un espectrógrafo con unidad de campo integral en el infrarrojo cercano que también obtendrá imágenes con resoluciones espectrales superiores a 30.000. Lo que destaca de este instrumento es su capacidad para hacer “espectroscopía 3D”, una técnica que combina imagen y espectroscopia. FRIDA revelará qué ocurre en el interior de las regiones de formación estelar y en los núcleos activos de galaxias y nos ayudará a saber más sobre la evolución química y dinámica de estos fenómenos.



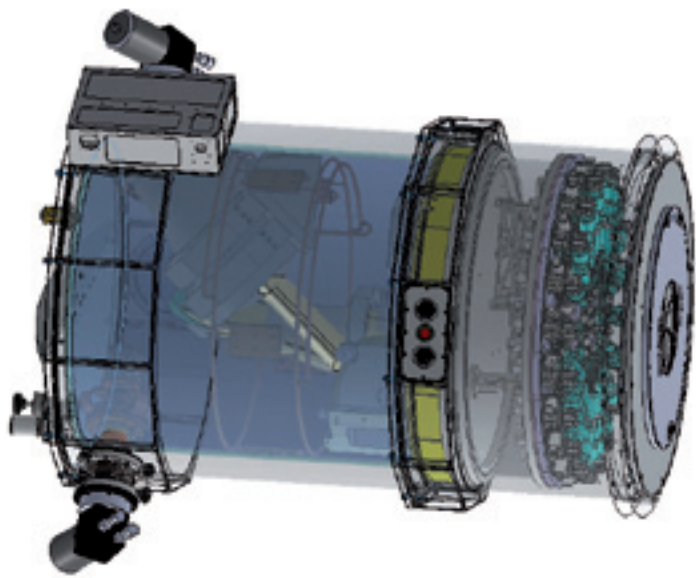
## future instruments

The GTC is also actively pursuing the development of an Adaptive Optics system (AO): the perturbations caused by the atmosphere when the light passes through it will be removed in real time by this system. The AO-corrected focal plane will initially be used to feed the near-IR imager and integral field spectrograph, FRIDA, at spectral resolutions of up to 30,000. This instrument will perform what is known as “3D spectroscopy”, a technique that combines imaging and spectroscopy. FRIDA will reveal what happens inside star forming regions and AGNs, and will tell us about the chemical and dynamical evolution of these phenomena.





MEGARA



MIRADAS



HORS

## instrumentos futuros

El instrumento MEGARA, en desarrollo, es un espectrógrafo multiobjeto de resolución media-alta (entre 6.000 y 19.000) para el rango visible. Su plano focal, que cubre un campo de 3,5 minutos de arco y está formado por unidades de fibras ópticas, permitirá la selección y la observación simultánea de más de 100 objetos. Además, el instrumento cuenta con un conjunto de fibras para hacer espectroscopía de campo integral cubriendo un área de 14 x 12 segundos de arco. Los intereses científicos se clasifican en dos categorías: fuentes extensas, como las nebulosas galácticas y extragalácticas, y fuentes puntuales (o casi puntuales), como los cúmulos estelares de galaxias cercanas.

MIRADAS es también un espectrógrafo multiobjeto, pero trabajará en el rango del infrarrojo cercano, con una resolución espectral de 20.000. Este instrumento permitirá hacer ciencia de vanguardia, penetrando en la física de las estrellas más masivas, estudiando los componentes básicos de las galaxias actuales a altos desplazamientos al rojo y revelando la estructura interna de nuestra galaxia, la Vía Láctea. Con MIRADAS se aplicarán las técnicas de la física solar a otras estrellas utilizando espectropolarimetría.

El instrumento HORS proporcionará al GTC la capacidad de realizar espectroscopía de alto poder resolutivo, que se requiere para llevar a cabo estudios detallados de la composición química de estrellas, cúmulos estelares o planetas.

Estos desarrollos en marcha ampliarán significativamente las capacidades del GTC en los próximos años.

## future instruments

MEGARA is an optical multi-object medium-to-high (6,000 to 19,000) resolution spectrograph under development. Covering a 3.5 arc minute field, the focal plane fibre unit allows selection and simultaneous observation of up to 100 objects. In addition, the instrument holds a compact bundle of fibres to carry out integral-field spectroscopic observations of a field of 14 x 12 arc seconds. The scientific interests can be grouped in two categories: extended sources, such as Galactic and extragalactic nebulae, and point (or close to point) sources, such as stellar clusters of nearby galaxies.

MIRADAS is also a multi-object spectrograph that will work in the near-infrared range of the spectrum, with a spectral resolution of 20,000. This instrument will be applied to cutting edge science, revealing the physics of the most massive stars, studying the high-redshift building blocks of today's galaxies and unveiling the structure of the inner Milky Way. With MIRADAS we will take the techniques of solar physics and apply them to other stars using spectro-polarimetry.

The instrument HORS will enable high resolution spectroscopy with the GTC, required to perform detailed studies of the chemical composition of stars, stellar clusters, or planets.

These ongoing developments will greatly expand the capabilities of the GTC over the coming years.

# resultados científicos

El ritmo de publicaciones científicas con el GTC ha ido en aumento a lo largo de estos primeros cinco años de operación. Ya se ha alcanzado la cifra de 100 artículos, pertenecientes a campos de investigación muy variados, publicados en revistas científicas con árbitro.

## OBJETOS DEL SISTEMA SOLAR

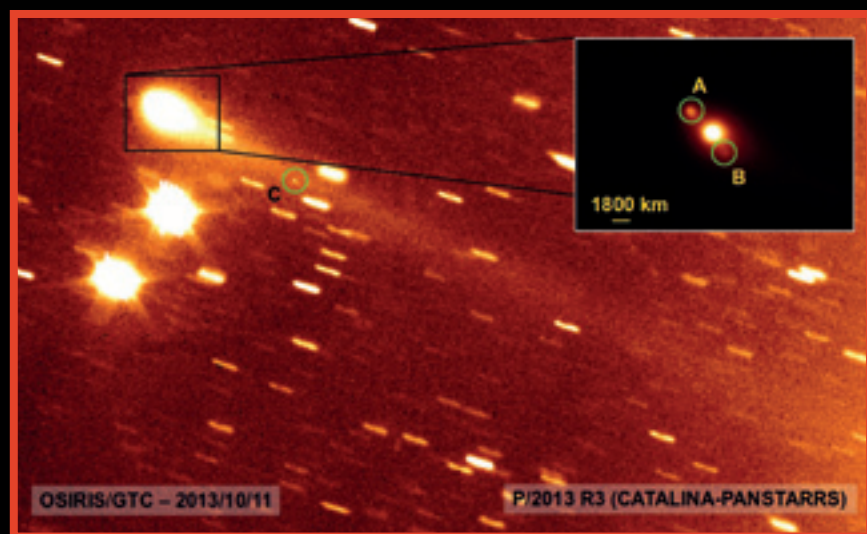
Su excepcional comportamiento optomecánico, junto con su capacidad colectora de luz, hacen de este telescopio una poderosa herramienta para llevar a cabo estudios astronómicos a escalas cosmológicas, pero también puede ampliar nuestro conocimiento sobre los objetos más cercanos a nuestro planeta. El cometa P/2013 R3, observado por Licandro et al. (2013, CBET 3679, L1), es un buen ejemplo. Tiene la apariencia de un cometa con su cola característica, pero su órbita, al contrario que en la mayor parte de estos objetos, coincide con la del cinturón principal de asteroides que se encuentra entre Marte y Júpiter. La comunidad científica denomina a esta clase de objetos, de los que apenas se conoce una docena, “cometas del cinturón principal” (MBC, por su acrónimo en inglés). Con el GTC se pudo observar que este objeto se había partido en, al menos, cuatro trozos. El suceso proporcionó una oportunidad única para estudiar la estructura interna de un MBC y el mecanismo por el cual desarrollan una cola similar a la de los cometas.

Moreno et al. (2014, ApJ 781, 118) estudiaron con el GTC otro MBC, conocido como P/2013 P5. Se cree que este objeto pertenece a la familia de asteroides que nació tras la ruptura de un objeto mayor hace unos 155 millones de años. El GTC hizo un seguimiento de la evolución de la compleja estructura de su cola, lo cual permitió a los investigadores modelar en detalle el comportamiento de la cola de polvo y determinar la velocidad de eyección de las partículas procedentes del pequeño núcleo.

Este tipo de trabajos arrojan luz sobre la desconocida relación entre cometas y asteroides o, en otras palabras, entre objetos compuestos principalmente de hielo y cuerpos rocosos. A esto hay que sumar la relevancia de estos estudios a la hora de profundizar en la historia de la formación de nuestro sistema solar y la contribución de estos objetos a la presencia de agua en la Tierra.

*Imagen del cometa del cinturón principal P/2013 R3, obtenida con OSIRIS (Licandro et al. 2013, CBET, 3679).*

*Image of the main belt comet P/2013 R3, obtained with OSIRIS (Licandro et al. 2013, CBET, 3679).*



# scientific highlights

The rate of scientific publications with the GTC has been increasing over the first five years of operation. The landmark of 100 papers published in refereed scientific journals has already been reached. These cover a wide variety of research fields.

## SOLAR SYSTEM OBJECTS

The GTC's exquisite opto-mechanical performance and light-collecting capability make this telescope a very powerful tool for astronomical studies on cosmological scales, but equally so for objects much nearer to our home planet.

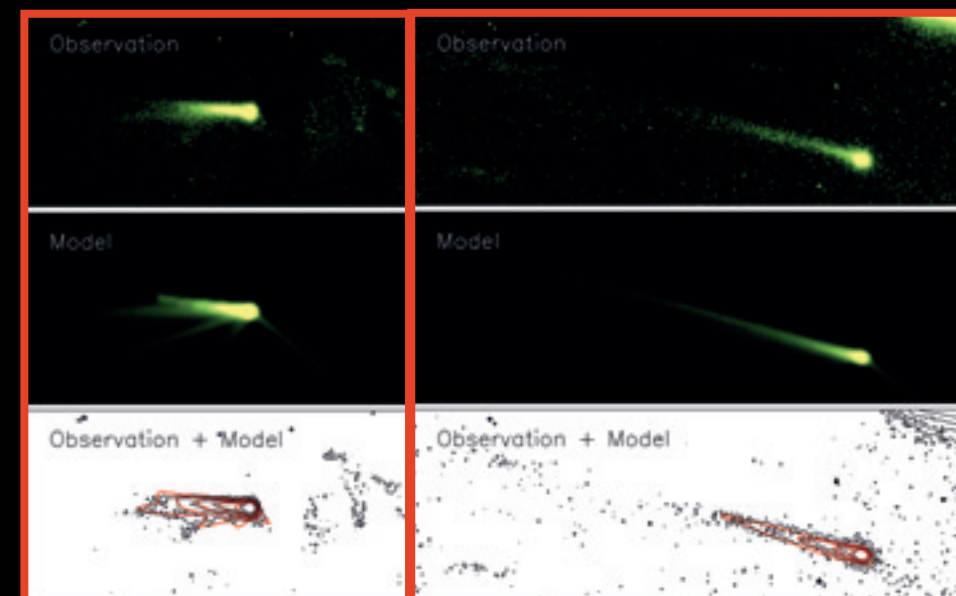
Comet P/2013 R3, observed by Licandro et al. (2013, CBET 3679, 1L), is a good example. It has the appearance of a comet with its characteristic tail, but its orbit was found to coincide, unlike most other comets, with the main belt of asteroids between Mars and Jupiter. The scientific community has called this class of objects, of which only a dozen are known, as main belt comets (MBC). The object was seen by the GTC as it had broken up into at least four fragments. This provided a unique opportunity to study the internal structure of an MBC and the mechanism by which an asteroid develops a comet-like tail.

Another MBC, known as P/2013 P5, was studied in detail by Moreno et al. (2014, ApJ 781, 118), also with the GTC. This object is thought to belong to a family of asteroids that came into being when a larger body broke up some 155 million years ago. The GTC monitored the developments in the complex tail structure of this object, allowing the researchers to model in detail the behavior of the dust tail, and to determine ejection velocities of the particles that were released from its small nucleus.

Studies like these shed light on the missing link between comets and asteroids, or, in other words, between objects that consist mainly of ices, and rocky bodies. Such studies are also of great interest to deepen our knowledge about the formation history of the Solar System and the contribution of these objects to the presence of water on Earth.

*Imágenes de P/2013 P5 obtenidas con OSIRIS, con una separación de un mes entre ellas, y comparación con modelos (Moreno et al. 2014, ApJ 781, 118).*

*OSIRIS images of P/2013 P5, with about one month spacing between them, and comparison with models (Moreno et al. 2014, ApJ 781, 118).*





# resultados científicos

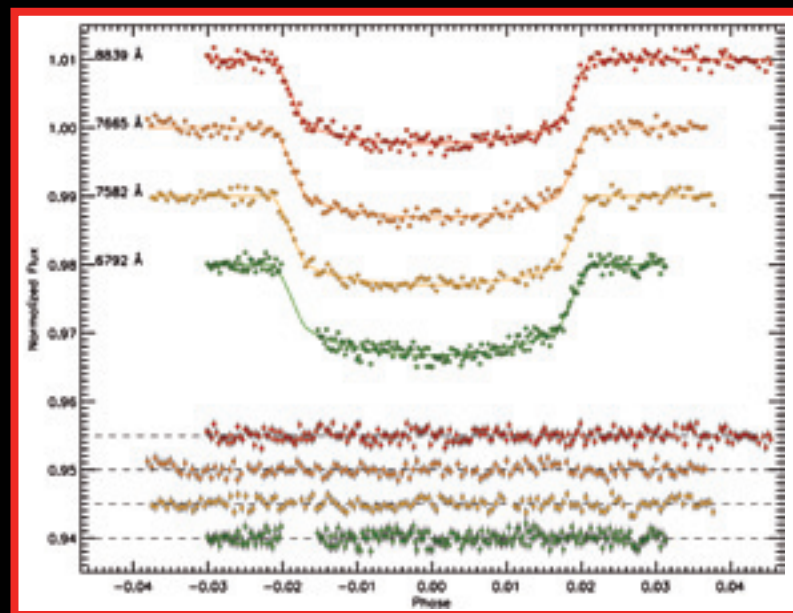
## EXOPLANETAS

En los primeros años de funcionamiento del GTC, quedó patente la creciente importancia científica del campo de los exoplanetas gracias al aumento en el número de planetas descubiertos en torno a otras estrellas. Este campo de investigación empezó a centrarse en el estudio de la física individual de cada planeta y su atmósfera. En concreto, estudios con el GTC ayudaron a confirmar, por primera vez, la presencia de potasio en la atmósfera del exoplaneta XO-2b (Sing et al., 2011, A&A 527, 73). Tras este éxito, el mismo equipo descubrió también sodio en este objeto (Sing et al. 2012, MNRAS 426, 1663), y un segundo grupo, liderado por Colón (2012, MNRAS 419, 2233), identificó potasio en otro planeta que orbitaba a la estrella HD80606. Desde entonces, el GTC ha estudiado otros exoplanetas con fines similares (ej., Murgas et al. 2012, A&A, 544, 41; Murgas et al. 2014, A&A, 563, 41; Wilson et al. 2014, MNRAS, 438, 2395).

## scientific highlights

### EXOPLANETS

In the early years of existence of the GTC the field of exoplanet research became increasingly important thanks to the increased discovery rate of planets around other stars. This research field started to focus on unveiling the physics of individual planets and their atmospheres. The GTC played a significant role in this area revealing, for the first time, the presence of potassium in the atmosphere of the exoplanet XO-2b (Sing et al., 2011, A&A 527, 73). Following up from this success, the same group also discovered sodium in that object (Sing et al. 2012, MNRAS 426, 1663), and a second group, led by Colón (2012, MNRAS 419, 2233) identified potassium in a second planet orbiting around HD80606. Since that, several other exoplanets have been similarly analysed using the GTC (f.i., Murgas et al. 2012, A&A, 544, 41; Murgas et al. 2014, A&A, 563, 41; Wilson et al. 2014, MNRAS, 438, 2395).



Curvas de luz de alta precisión del exoplaneta XO-2b obtenidas por Sing et al. (2011, A&A 527, 73) usando los filtros sintonizables de OSIRIS.

High-accuracy light curves of exoplanet XO-2b obtained by Sing et al. (2011, A&A 527, 73) using OSIRIS tunable filters.



# resultados científicos

## OBJETOS ESTELARES COMPACTOS

Entre la comunidad científica que utiliza el GTC hay un gran interés en el estudio de objetos estelares compactos. Un importante resultado se obtuvo estudiando los cambios en el periodo orbital de una estrella ligada gravitatoriamente a un agujero negro. Se encontró que el cambio en el periodo por ciclo orbital era mucho mayor del esperado. Por tanto, debían entrar en juego otros procesos que hicieran perder momento angular al sistema, no previstos en los modelos convencionales. Solo el mecanismo de frenado magnético con una extrema pérdida de masa podría explicar la caída en el periodo orbital (González-Hernández et al., 2012, ApJ 744, L25 y González-Hernández et al., 2014, MNRAS 438, L21). Serán necesarias más observaciones y el desarrollo de modelos teóricos para explicar esta inesperada discrepancia.

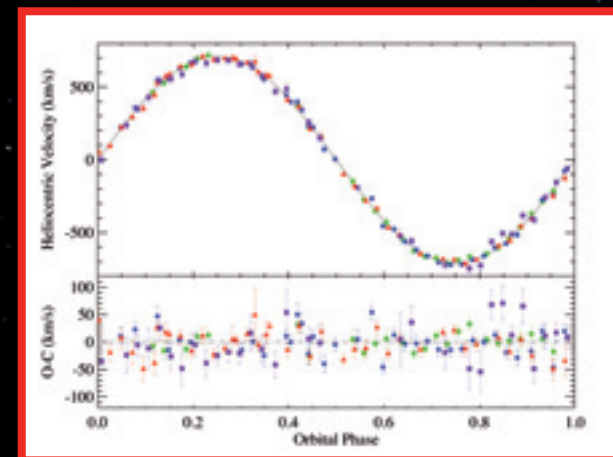
Por otro lado, las parejas binarias del enigmático grupo de sistemas AM CVn, formadas por una enana blanca principal y una estrella secundaria que le transfiere masa a través de un disco de acreción, son de gran utilidad para intentar comprender las últimas etapas de la evolución estelar. También resultan interesantes porque se cree que pueden ser el origen de ondas gravitatorias y pueden servir como calibradores cósmicos en los observatorios de este tipo de radiación. Aun tratándose de estrellas con un periodo orbital muy corto (entre 5 y 65 minutos) y pese a ser muy débiles, el GTC y su instrumentación han permitido hacer estudios detallados de cuatro de estos sistemas (Kupfer et al. 2013, MNRAS 432, 2048) y existen más trabajos en desarrollo en torno a estos objetos.

## scientific highlights

### COMPACT STELLAR OBJECTS

Within the GTC user community there exists a strong interest in the study of compact stellar objects. An interesting result was obtained in a study of the orbital period of a star gravitationally bound to a black hole. It was found that the measured period change per orbital cycle is much larger than the value expected. So other sources of angular momentum losses, not covered by conventional models, must come into play. Only magnetic braking with extreme mass-loss values may explain the orbital period decay (González-Hernández et al., 2012, ApJ 744, L25 and González-Hernández et al., 2014, MNRAS 438, L21). Further observations and theoretical models will one day explain this unexpected discrepancy.

Besides, the enigmatic group of AM CVn systems, which consist of a white dwarf primary and a secondary star which interchange mass through an accretion disk, are of great interest for testing and understanding the late stages of stellar evolution. They are also thought to be the main sources of detectable gravitational wave radiation, so they may serve as cosmic calibrators for gravitational wave observatories. Given the very short orbital periods (between 5 and 65 minutes) and that these systems are very faint, it is quite complicated to study them. However, thanks to the qualities of the GTC and its instrumentation Kupfer et al. (2013, MNRAS 432, 2048) were able to carry out a detailed study of four AM CVn systems, and more are on the way.



*Curva de velocidad radial de la estrella secundaria en el sistema binario de rayos-X XTE J1118+480, obtenida con OSIRIS en el GTC (González-Hernández et al., 2014 MNRAS, 438, L21).*

*Radial velocity curve of the secondary star in the black hole X-ray binary XTE J1118+480, obtained with OSIRIS on the GTC (González-Hernández et al., 2014 MNRAS, 438, L21).*

# resultados científicos

## MEDIO INTERESTELAR

CanariCam en el GTC es uno de los pocos instrumentos astronómicos en todo el mundo que puede observar en la región del infrarrojo medio entre 8 y 25 micras. Este rango espectral es de gran interés para el estudio de objetos y entornos ricos en polvo, como es el caso de las supernovas, que son consideradas un agente importante del enriquecimiento químico del Universo.

El descubrimiento, el 21 de enero de 2014, de la supernova de tipo Ia SN 2014J en la galaxia M82, a sólo 11,5 millones de años luz de distancia, brindó una oportunidad única para explorar en detalle uno de los fenómenos más energéticos de la naturaleza. El 10 de febrero, un equipo internacional, liderado por Telesco, de la Universidad de Florida, obtuvo las primeras imágenes en el infrarrojo medio de la supernova usando CanariCam en el GTC (Li et al. 2014, ATel 5903). El 13 de marzo, CanariCam tomó el primer espectro en el infrarrojo medio de SN 2014J, mostrando varias líneas de emisión muy luminosas y muy anchas (Li et al. 2014, ATel 6018). Las líneas están claramente ensanchadas por efecto Doppler, con unas anchuras equivalentes a 12.000 km/s, lo que implica que la explosión ha expulsado gas a velocidades de hasta 6.000 km/s. Observaciones de seguimiento con CanariCam en los meses posteriores han mostrado cambios en la intensidad y forma de las líneas, que aportan importantes pistas sobre la estructura general de la supernova, su estrella progenitora y sobre la dinámica del gas a alta velocidad.

# scientific highlights

## INTERSTELLAR MEDIUM

CanariCam on the GTC is one of only a few astronomical instruments in the whole world that can observe in the mid-infrared region with wavelengths between 8 and 25 microns. This spectral range is of great interest for the study of dusty objects and environments, as it is the case for supernovae, which are considered to be a major agent of chemical enrichment in the Universe.

The discovery, on 2014 January 21, of type Ia supernova SN 2014J in the galaxy M82, which is only 11.5 million light years away, offered a special opportunity to explore in detail one of nature's most energetic phenomena. On February 10, an international team led by Telesco (University of Florida) observed SN 2014J with CanariCam on the GTC for the first time at mid-infrared wavelengths (Li et al. 2014, ATel 5903). On March 13, CanariCam took the first mid-infrared spectrum of the supernova, showing several very bright, very broad emission lines (Li et al. 2014, ATel 6018). The lines are clearly Doppler-broadened, with widths equivalent to 12,000 km/s, implying that the explosion has sent gas flying away at up to 6,000 km/s. Follow-up observations with CanariCam in subsequent months have shown changes in the line strengths and shapes, which hold important clues to the overall structure of the supernova, its progenitor, and the dynamics of the high-velocity gas.

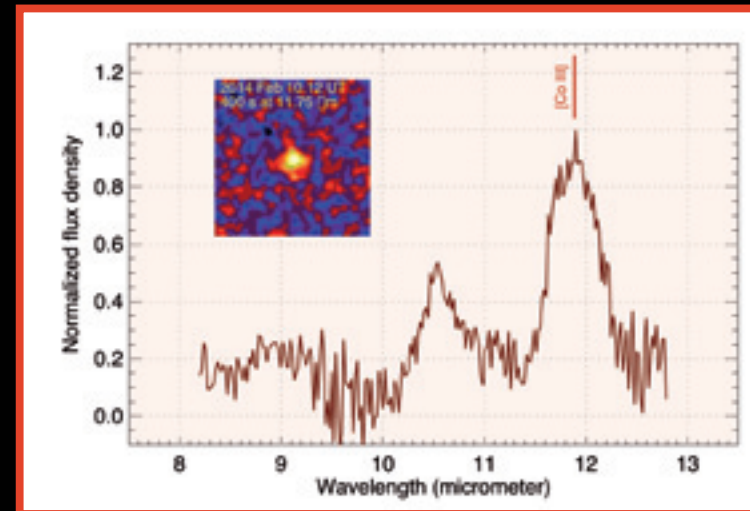


Imagen y espectro de la supernova SN 2014J en el infrarrojo medio obtenidos con CanariCam (Li, Telesco, and Packham 2014, ATel 5903; Li et al. 2014, ATel 6018). La línea más brillante, centrada cerca de 11,9 micras, se identifica con cobalto doblemente ionizado (Co III). En el espectro también se observan otras líneas o grupos de líneas muy brillantes.

CanariCam mid-infrared image (figure inset) and spectrum of SN 2014J (Li, Telesco, and Packham 2014, ATel 5903; Li et al. 2014, ATel 6018). The brightest line, centred near 11.9 micrometers, is identified with doubly ionized cobalt (Co III), but several other lines or groups of lines are also very bright in the spectrum.

Imagen de la galaxia M82 antes de la supernova (posteriormente observada en la zona del círculo) obtenida por Rodríguez-Gil y Bonet con el telescopio William Herschel, del Grupo de Telescopios Isaac Newton, en el Observatorio del Roque de los Muchachos.

Image of the galaxy M82 before the supernova (later observed in the area of the circle) obtained by Rodríguez-Gil and Bonet with the William Herschel Telescope, of the Isaac Newton Group of Telescopes, at the Observatorio del Roque de los Muchachos.

M 82

# resultados científicos

## GALAXIAS

El estudio de las galaxias y su evolución también juega un importante papel en el GTC. Recientemente, los investigadores de una colaboración internacional liderada por Alonso-Herrero y Packham (Alonso-Herrero et al. 2013, ApJ 779, L14) utilizaron el espectrógrafo del infrarrojo medio CanariCam, instalado en el GTC, para estudiar la actividad profundamente oculta del interior de Arp 299, una de las fuentes intergalácticas de infrarrojo más brillantes. Este sistema, formado por dos galaxias, se encuentra en proceso de fusión, generando una intensa actividad de formación estelar, causante de la fuerte radiación infrarroja.

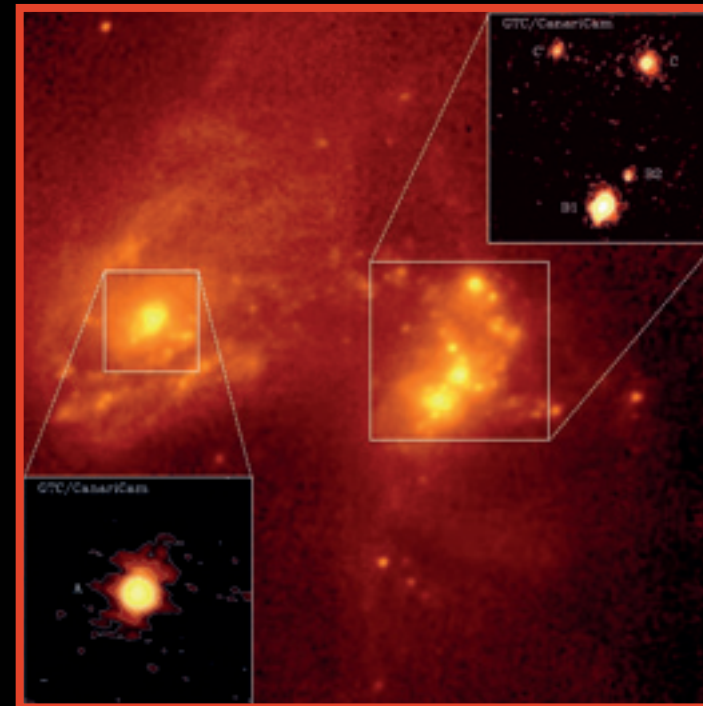
Trabajos previos ya indicaban la presencia de un núcleo activo de galaxia (AGN, Active Galactic Nucleus) en ambas galaxias, pero los AGN parecían estar ocultos tras enormes aglomeraciones de gas y polvo. CanariCam en el GTC ofrece una resolución angular que supera, en casi un orden de magnitud, la de observaciones espectroscópicas previas en el infrarrojo medio obtenidas con el telescopio espacial Spitzer. Estas observaciones han demostrado la presencia de actividad y de envolturas de polvo en ambos núcleos de las galaxias en interacción, probablemente un indicador de actividad AGN temprana. Sin embargo, se estima que la actividad de los núcleos sería simultánea durante, tan solo, un 10% de la duración de la interacción, especialmente dada la distancia que separa a los dos núcleos de este sistema. Todo esto hace que Arp 299 represente un atractivo caso de estudio para poner a prueba las predicciones teóricas sobre la actividad dual de núcleos activos de galaxias durante las primeras etapas de interacción.

## scientific highlights

### GALAXIAS

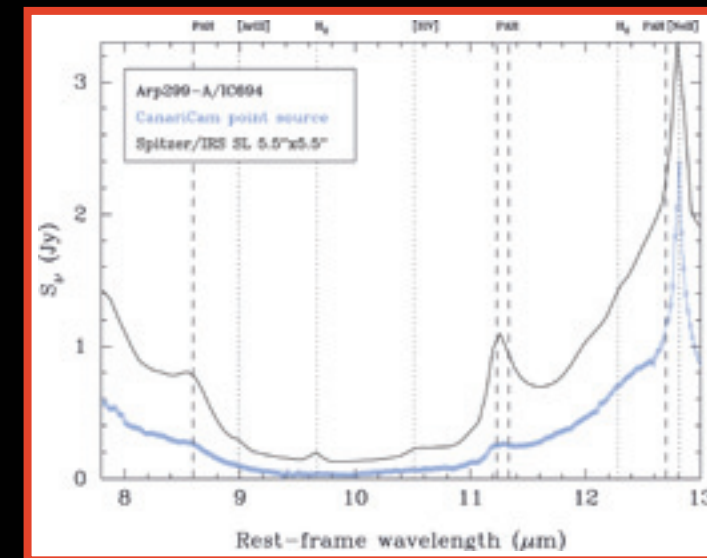
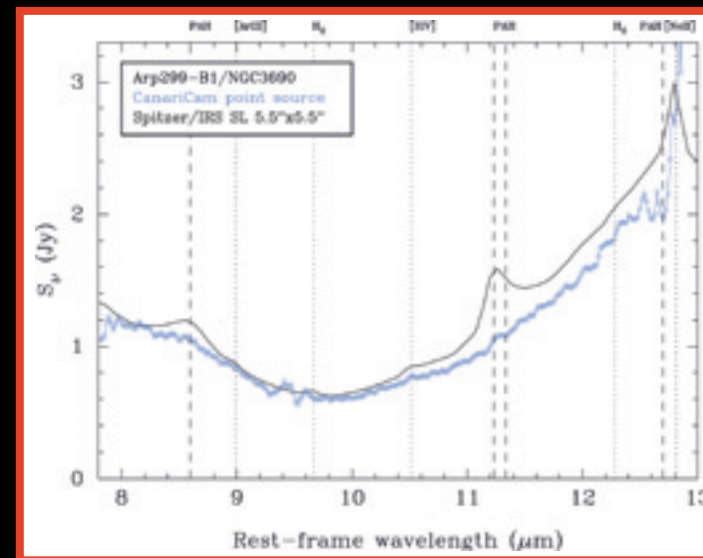
The study of galaxies and galaxy evolution also plays a prominent role at the GTC. Recently an international collaboration led by Alonso-Herrero and Packham (Alonso-Herrero et al. 2013, ApJ 779, L14) used the CanariCam mid-IR spectrograph on the GTC to study the deeply embedded activity of the interacting galaxy Arp 299. This is one of the brightest intergalactic infrared sources and the system of two galaxies is still in the process of merging, leading to intense star formation activity which causes the strong IR radiation.

Previous work also indicated the presence of an active galactic nucleus (AGN) in both galaxies, but the AGN appeared to be hidden behind large amounts of gas and dust. CanariCam on the GTC delivers almost an order of magnitude better angular resolution compared to previous mid-infrared spectroscopic observations taken with the Spitzer Space Telescope. These observations have provided evidence of the presence of AGN activity in both nuclei of the interacting galaxy and of dual dust-enshrouded AGN, probably indicative of an early phase of AGN activity in both nuclear regions. However, dual AGN activity would only occur simultaneously for approximately 10% of the duration of the interaction, especially at the relatively large separation of the Arp 299 nuclei. Therefore, Arp 299 represents an interesting case study to test theoretical predictions for dual AGN activity during the early stages of galaxy interactions.



Imágenes de las regiones nucleares del sistema de galaxias en interacción ARP 299 obtenidas con CanariCam en el GTC en el rango infrarrojo medio (Alonso-Herrero et al. 2013, ApJ 779, L14), sobre una imagen del sistema en el infrarrojo cercano tomada con el instrumento NICMOS en el telescopio espacial Hubble.

The GTC/CanariCam mid-infrared images of the nuclear regions of the interacting galaxy ARP 299 (Alonso-Herrero et al., 2013, ApJ 779, L14) superimposed on a near-infrared image of the system obtained with the NICMOS instrument on the Hubble Space Telescope.



Espectros en el infrarrojo medio de las regiones nucleares de Arp 299 obtenidos con CanariCam en el GTC (círculos y líneas azules), comparados con espectros de Spitzer/IRS (líneas negras) con una resolución angular unas 10 veces menor (Alonso-Herrero et al. 2013, ApJ 779, L14).

The GTC/CanariCam mid-infrared spectra (blue circles and lines) of the Arp 299 nuclei, compared with spectra taken with the IRS instrument on the Spitzer Space Telescope (black lines), which have an angular resolution about ten times lower (Alonso-Herrero et al., 2013, ApJ 779, L14).

# resultados científicos

## GALAXIAS

El GTC está contribuyendo también a desvelar las estructuras de muy bajo brillo superficial de las galaxias. Las simulaciones cosmológicas más avanzadas predicen que prácticamente todas las galaxias actuales deberían mostrar corrientes estelares y un prominente halo estelar extendido en imágenes muy profundas. Si están presentes, estas estructuras deberían revelar el pasado y presente de los procesos de ensamblaje de galaxias. Por el contrario, la ausencia de un halo estelar extendido alrededor de ellas podría comprometer seriamente nuestra comprensión de la formación de galaxias. A pesar de la importancia de poner a prueba estas predicciones teóricas, el tema se ha mantenido observacionalmente muy poco explorado debido a la enorme dificultad de captar la luz de las galaxias a brillos superficiales tan tenues.

En 2014, Trujillo et al. lograron este objetivo usando OSIRIS en el GTC. Observaron durante 8 horas la galaxia espiral cercana UGC00180, llegando a un brillo superficial que ha permitido detectar estas tenues estructuras. La imagen ultraprofunda del GTC/OSIRIS muestra un halo estelar muy extendido que rodea a la galaxia, así como evidencias de acreción estelar en curso a distancias lejanas del centro de la galaxia. Estos datos permitirán cuantificar el número de estrellas que rodean a las galaxias e imponer restricciones estrictas a los escenarios de formación de galaxias actuales.

# scientific highlights

## GALAXIES

The GTC is also helping to reveal the very low surface brightness structure of galaxies. State-of-the-art cosmological simulations predict that virtually all present-day galaxies will show several streams and a prominent extended stellar halo in very deep images. If present, these extended features around the galaxies should reveal the past and on-going processes of galaxy assembly. Conversely, the absence of an extended stellar halo surrounding the galaxies would seriously compromise our understanding of galaxy formation. Despite the relevance of testing this theoretical prediction, observationally this theme has remained largely unexplored due to the enormous difficulty of probing the light of the galaxies at such extremely faint surface brightness.

In 2014, Trujillo et al. have achieved this objective using OSIRIS on the GTC. They observed during 8 hours the nearby spiral galaxy UGC00180, reaching a surface brightness limit that would allow such faint structures to be detected. The GTC/OSIRIS ultra-deep imaging shows a very extended stellar halo surrounding the galaxy, and evidence for ongoing stellar accretion at great distances from the galaxy centre. These data will allow astronomers to quantify the stars that surround the galaxies and put stringent constraints on current galaxy formation scenarios.



NGC 7331

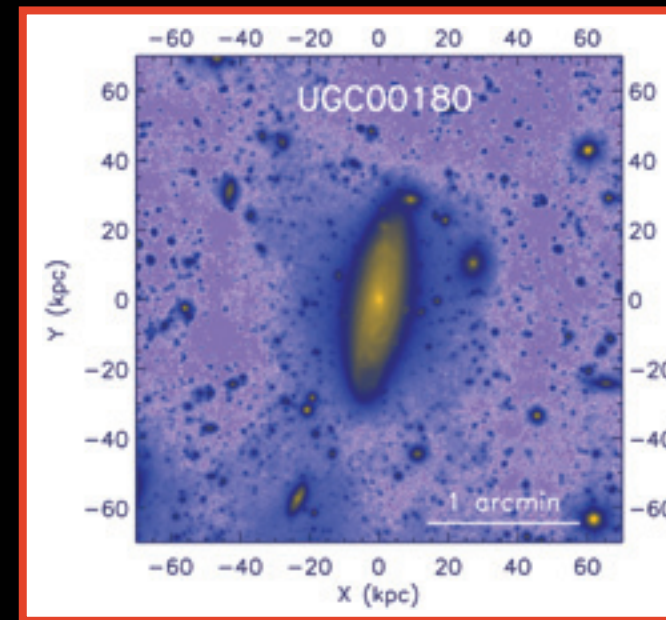


Imagen ultraprofunda de la galaxia cercana UGC00180 obtenida con el GTC/OSIRIS (izquierda), alcanzando un brillo superficial de 32 mag/arcsec<sup>2</sup> en la banda r, 5 magnitudes mayor que en la imagen de esta galaxia obtenida por el SDSS (derecha).

The GTC/OSIRIS ultra-deep image of the nearby galaxy UGC00180 (left), reaching a surface brightness of 32 mag/arcsec<sup>2</sup> in the r-band. This limit is 5 magnitudes deeper than the SDSS image of this galaxy (right).

# resultados científicos

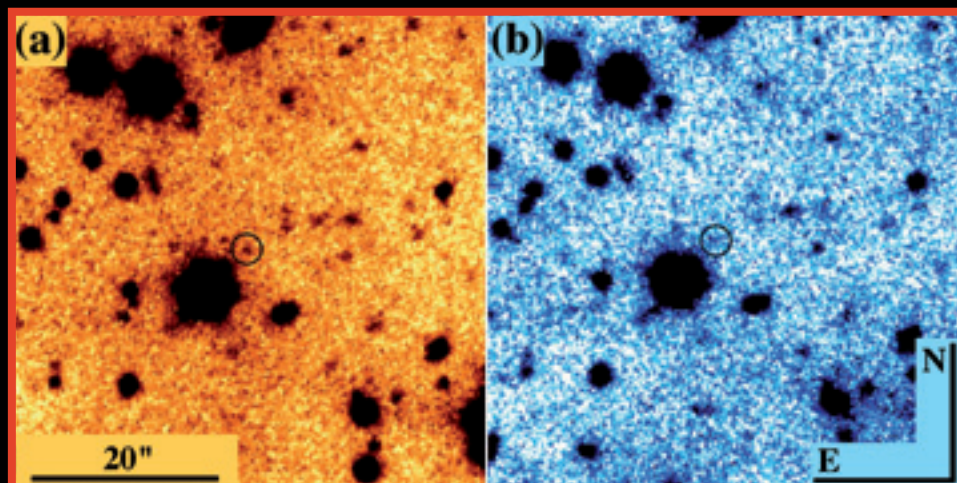
## EXPLOSIONES DE RAYOS GAMMA

Mucho antes de la construcción del GTC, en 1997, se descubría desde el Observatorio del Roque de los Muchachos la primera contrapartida óptica de una explosión de rayos gamma (van Paradijs et al., 1997, Nature 386, 686). El estudio de estas explosiones es un campo muy activo de investigación con el GTC. La capacidad de respuesta y la rapidez del GTC, gracias a la flexibilidad de su modo de operación, ha ayudado a capturar varios de estos eventos. Por ejemplo, Thöne et al. (2011, Nature 480, 72) utilizaron varios telescopios, tanto basados en tierra como espaciales (entre ellos, el GTC), para estudiar uno de estos fenómenos: la fuente GRB 101225A, peculiar por la larga duración de su emisión en rayos gamma, seguida de un efímero y brillante brote de rayos X. Los investigadores se decantan por un modelo que hablaría de la fusión entre una estrella de helio y una estrella de neutrones, las cuales estarían atravesando una fase de envoltura común para terminar en este evento extremadamente violento.

## scientific highlights

### GAMMA-RAY BURSTS

The first optical counterpart of a gamma-ray burst was discovered at the Roque de los Muchachos Observatory, well before the existence of the GTC (van Paradijs et al., 1997, Nature 386, 686). The study of gamma-ray bursts has become a very active and exciting field of research in which the GTC plays a prominent role. The fast-response capability thanks to the flexible mode of operation of the GTC has helped in reaping various successes in this field. For instance, Thöne et al. (2011, Nature 480, 72) used various ground-based and space-based telescopes, including the GTC, to study the most peculiar GRB 101225A, which showed exceptionally long duration gamma-ray emission followed by a bright X-ray transient. The model favoured by the researchers is that of a helium star merging with a neutron star, undergoing a common-envelope phase that ended in this extremely violent event.



*Imágenes de la galaxia anfitriona (círculo) de la explosión de rayos gamma 101225A en las bandas  $r'$  (izquierda) y  $g'$  (derecha) obtenidas con OSIRIS en el GTC (Thöne et al., 2011, Nature 480, 72).*

*OSIRIS  $r'$  (left) and  $g'$  (right) images of the GRB 101225A, 6 months after the event, showing the distant host galaxy in the circle (Thöne et al., 2011, Nature 480, 72).*



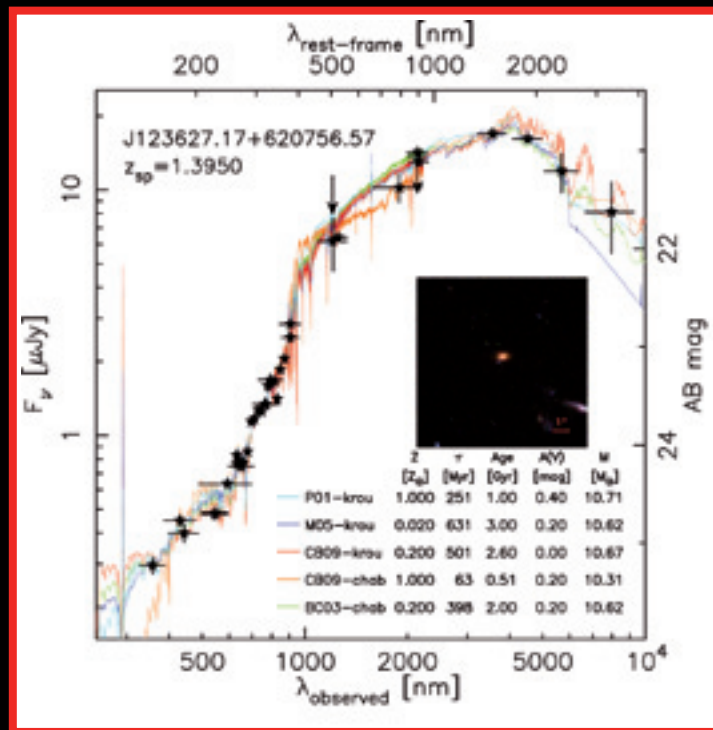
# resultados científicos

## COSMOLOGÍA

El GTC ha llevado a cabo un programa de sondeo ultra-profundo de galaxias masivas con alto desplazamiento al rojo (SHARDS; Pérez-González et al., 2013, ApJ 762, 46). Utilizando un conjunto de filtros especialmente diseñados para trazar los espectros de las galaxias a baja resolución, este sondeo ha obtenido los datos espectro-fotométricos más profundos jamás tomados para galaxias con desplazamientos al rojo en el rango  $0.6 < z < 3$ . Este conjunto de datos permite la medida de índices de absorción, tales como el índice espectral de  $4.000 \text{ \AA}$  o el salto de Balmer, hasta  $z \sim 3$ , lo que representa un gran paso adelante para la determinación sólida de las propiedades de las poblaciones estelares de galaxias masivas distantes, proporcionando una caracterización mucho más realista del contenido estelar de estas galaxias que los estudios típicos realizados con filtros de banda ancha.

El instrumento OSIRIS en el GTC es una herramienta única para caracterizar los grupos de galaxias más distantes del Universo. Por ejemplo, Kuiper et al. (2011, MNRAS 417, 1088) utilizaron los filtros sintonizables de OSIRIS para detectar un protocúmulo de galaxias en el universo temprano, a un desplazamiento al rojo de 4,413. Las observaciones con OSIRIS les permitieron también distinguir objetos que pertenecían al cúmulo de otros objetos en el campo. El descubrimiento de este protocúmulo arroja luz sobre la formación de cúmulos en el universo temprano.

OSIRIS se está utilizando también para llevar a cabo la caracterización espectroscópica en el óptico de los candidatos a cúmulos de galaxias recién descubiertos por el satélite Planck (Planck Colaboración XXIX 2013) basándose en el efecto Sunyaev-Zeldovich (SZ). Estas observaciones permiten determinar los desplazamientos al rojo de los cúmulos de galaxias, sus masas y otras propiedades físicas de los mismos, que son de vital importancia para llevar a cabo estudios cosmológicos (Colaboración Planck XX 2013).



Ejemplo de la distribución espectral de energía (puntos negros) medida para una galaxia lejana dentro del sondeo profundo SHARDS, llevado a cabo con OSIRIS en el GTC (Pérez-González et al., 2013, ApJ 762, 46).

Example of a spectral energy distribution (black points) measured for a distant galaxy from the SHARDS deep, medium-band filter survey carried out with OSIRIS on the GTC (Pérez-González et al., 2013, ApJ 762, 46).

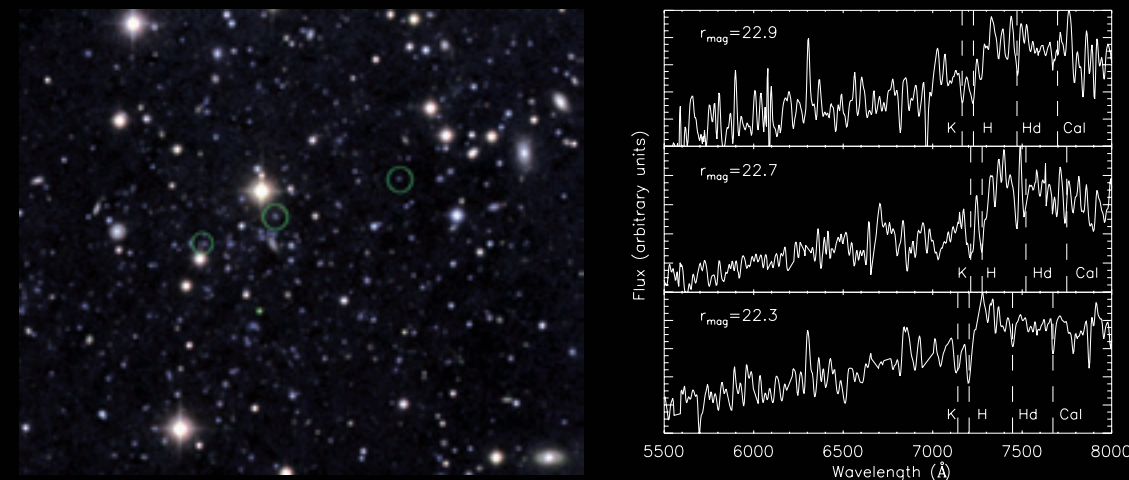
# scientific highlights

## COSMOLOGY

One large programme with the GTC has very effectively used the best features of this telescope to pursue an ultra-deep survey of high-redshift massive galaxies (SHARDS; Pérez-González et al., 2013, ApJ 762, 46). Using a specially designed filter set to trace the galaxy spectra at low resolution, this survey has gathered the deepest spectro-photometric data ever taken for massive galaxies at redshifts  $0.6 < z < 3$ . This data set allows measurements of absorption indices, such as the  $4000 \text{ \AA}$  and Balmer breaks, up to  $z \sim 3$ , representing a big step forward for the robust determination of the stellar population properties of distant massive galaxies, and providing a much more certain characterization of the stellar content of these galaxies than the typical broad-band studies.

The GTC/OSIRIS is a unique tool to characterize the more distant clusters in the Universe. For example, Kuiper et al. (2011, MNRAS 417, 1088) used OSIRIS tunable filters to detect a galaxy protocluster in the early universe, at a redshift of 4.413, and to distinguish potential cluster members from foreground objects. The discovery of this protocluster sheds light on cluster formation in the early universe.

OSIRIS is also being used to carry out the spectroscopic optical follow-up of the newly discovered Sunyaev-Zeldovich (SZ) galaxy cluster candidates by the Planck satellite (Planck Collaboration XXIX 2013). These observations allow us to determine the redshifts of the galaxy clusters, their masses and to characterize other physical properties, which are of key importance for cosmological studies (Planck Collaboration XX 2013).



Izquierda: composición de imágenes en tres filtros, obtenidas con el telescopio Isaac Newton (ING), de un cúmulo de galaxias a  $z = 0.81$  detectado por Planck. Los círculos verdes marcan los miembros del cúmulo de galaxias con espectros de OSIRIS. Derecha: espectros obtenidos con OSIRIS de tres miembros del cúmulo, que muestran las líneas H y K del calcio y otras líneas de absorción (Colaboración Planck XX 2013).

Left: RGB color composition image, obtained with Isaac Newton Telescope (ING), of a galaxy cluster at  $z=0.81$  detected at the location of a Planck SZ-source. Green circles mark galaxy cluster members with OSIRIS spectra. Right: OSIRIS spectra of the three cluster members, showing Calcium H and K lines, and other absorption features (Planck Collaboration XX 2013).



Con el GTC estamos viendo el “nacimiento” de las estrellas y galaxias más alejadas del Universo y analizamos sus componentes; profundizamos en el estudio de las propiedades de los agujeros negros y su evolución; descubrimos qué elementos químicos componían el Universo poco después del Big Bang; estudiamos en profundidad las características de los exoplanetas... En definitiva, disponemos de información primordial para seguir dando pasos hacia delante en el estudio de los astros y del Cosmos, de su pasado y de su futuro, conociendo mejor de dónde venimos y adónde vamos. Y aún queda mucho por descubrir.

#### *Financiación del GTC*

*El GTC 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).*

The GTC is showing us the “birth” of the remotest galaxies and stars in the Universe and it is allowing us to analyze their constituents; we look in more detail at the characteristics of black holes and how they evolved; find out what were the chemical elements that made up the Universe just after the Big Bang; study in depth the exoplanets and their features... In short, the GTC is giving us vital information for advancing the study of the Cosmos and the celestial bodies, their past and their future, so that we can better understand where they came from and how they will evolve. And new discoveries are to come.

#### *GTC funding*

*The GTC is funded by the regional Government of the Canary Islands and the Spanish Government (cofunded by European Regional Development Funds-FEDER), 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).*

## créditos

#### **Textos:**

René Rutten  
Natalia Ruiz Zelmanovitch  
Nayra Rodríguez

#### **Imágenes:**

Equipo GTC/Daniel López  
Pablo Bonet  
Pablo López  
Pablo Rodríguez  
Félix Gracia  
Gabriel Pérez  
NASA/ISS

#### **Resultados científicos:**

Autores

#### **Diseño gráfico:**

Inés Bonet

#### **Coordinación editorial:**

Carmen del Puerto  
Pedro Álvarez  
Rafael Rebolo

## credits

#### **Texts:**

René Rutten  
Natalia Ruiz Zelmanovitch  
Nayra Rodríguez

#### **Photos:**

GTC Team/Daniel López  
Pablo Bonet  
Pablo López  
Pablo Rodríguez  
Félix Gracia  
Gabriel Pérez  
NASA/ISS

#### **Scientific results:**

Authors

#### **Graphic design:**

Inés Bonet

#### **Editorial coordination:**

Carmen del Puerto  
Pedro Álvarez  
Rafael Rebolo

Unidad de Comunicación y Cultura Científica (UC3)

Communication and Scientific Culture Unit (UC3)

Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) ([www.iac.es](http://www.iac.es))

Gran Telescopio Canarias (GTC) ([www.gtc.iac.es/](http://www.gtc.iac.es/))





Sharpless 2-106



**ciencia**  
**GTC**  
**2009-2014**

**science**  
**GTC**  
**2009-2014**