



Grandes telescopios del mundo y paraísos astronómicos

The World's Big Telescopes and Astronomy Paradises

■ Luis Cuesta Crespo y Natalia Ruiz Zelmanovitch

Resumen

Los telescopios son las herramientas fundamentales para la observación astrofísica. Ubicados en los mejores sitios del planeta para la Astronomía, los grandes telescopios actuales están capacitados para observar los objetos más débiles y distantes del Universo. Su elevado coste de mantenimiento hace que sean gestionados por consorcios científicos internacionales. Con el proyecto español Gran Telescopio CANARIAS (actualmente en construcción y con un diámetro 10,4 m) se instalará uno de estos grandes telescopios en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma, Canarias). Con él se pretende contestar a algunos de los grandes interrogantes con los que se enfrenta la Astronomía.

Palabras clave

Astronomía. Astrofísica. Universo. Telescopios. Canarias

Abstract

Telescopes are fundamental tools for astrophysical observation. The big telescopes of today, located at the best observation sites in the world, have the necessary capacity for observation of the weakest and most remote objects of the Universe. International scientific consortia are responsible for their management because of the high cost involved in their maintenance. The Gran Telescopio CANARIAS, presently under construction and with a 10.4-m diameter, is a Spanish project for the installation of a big telescope at the Roque de los Muchachos Observatory (La Palma, Canary Islands). With this, we expect to find the answers to some of the greatest questions faced by Astronomy.

Key words

Astronomy. Astrophysics. Universe. Telescopes. Canary Islands.

Los autores trabajan en el Instituto de Astrofísica de Canarias (<http://www.iac.es>), La Laguna (Tenerife, España).

■ La historia de los soñadores del cielo

La contemplación del firmamento estrellado ha despertado desde siempre la imaginación del ser humano y ha sido, seguramente, uno de los eslabones que han condicionado la evolución intelectual del *Homo sapiens*. La perplejidad que crea esta contemplación ha suscitado diferentes ideas hasta el punto de situar la morada de los dioses en el cielo o de otorgar la condición divina a los astros, como en el caso del Sol, la Luna o los planetas.

En sí mismo es un placer mirar al cielo en una noche estrellada y ver la inmensidad de puntitos luminosos que nos rodean; la sensación recibida nos traslada a una serie de preguntas de difícil respuesta.

Para la contemplación del cielo, nuestros ojos son unas herramientas muy adecuadas, pues son relativamente sensibles y tienen un gran campo visual. Sin embargo, cuando queremos llegar un poco más lejos e intentar dar respuesta a esa serie de preguntas relacionadas con la naturaleza de lo que vemos ahí arriba, se quedan cortos; necesitamos recurrir a otras herramientas más potentes.

Así ha sucedido desde la Antigüedad. Tanto con la construcción de monumentos megalíticos como los de Stonehenge (por citar uno de los más conocidos y que nadie duda que sean auténticos observatorios astronómicos, aunque los investigadores no se pongan de acuerdo sobre su verdadera finalidad) como, posteriormente, con la elaboración de artilugios que ayudaban a la orientación, como los astrolabios y los sextantes; y, definitivamente, con el uso del telescopio, ciertamente la aportación más importante a la Astronomía en toda su historia.

Las construcciones megalíticas servían para determinar las fechas del calendario: eran identificadores de las fechas de los solsticios y los equinoccios y, con ellos, de las estaciones del año. Permitían así conocer los momentos adecuados para la siembra o la recogida de la cosecha o las crecidas de los ríos, como en el caso del Nilo. Estas herramientas eran utilizadas por personas muy cualificadas, normalmente sacerdotes, que ostentaban un rango social y religioso muy elevado y que utilizaban su conocimiento como un arma de poder. Esta unión entre la Astronomía, la religión y el poder se mantuvo durante toda la Antigüedad y de ahí que los faraones, emperadores y reyes utilizaran la Astronomía como una forma de dominio. En aquella época lo que hoy separamos en Astronomía y Astrología no estaba diferenciado.

Con el tiempo las necesidades sociales cambiaron y la Astronomía también fue utilizada para encontrar soluciones. La navegación amplió sus horizontes y se hizo necesario buscar un modo fiable de orientación: las estrellas permitían encontrar el rumbo fácilmente. De este modo, hasta que se empezó a usar la brújula, el sextante era indispensable. En ese momento es cuando se comenzó a diferenciar entre Astronomía y Astrología, concediendo a la primera un carácter más científico, al estudiar las posiciones de los astros, y a la segunda un sentido más relacionado con la superstición y la adivinación.

Con la llegada de la brújula la Astronomía cedió terreno en el campo de la navegación. Pero fue por entonces cuando Galileo encontró una nueva aplicación a un invento holandés de uso

militar: un tubo en cuyos extremos se colocaban cristales curvados y que agrandaba las imágenes. Galileo lo modificó y lo dirigió hacia cielo, por lo que se le considera el inventor del telescopio. Este nuevo instrumento supuso el nacimiento de una nueva era en la Astronomía, y como consecuencia trajo una drástica revolución de las concepciones sobre el Universo: la Tierra dejó de ser considerada definitivamente el centro del Universo.

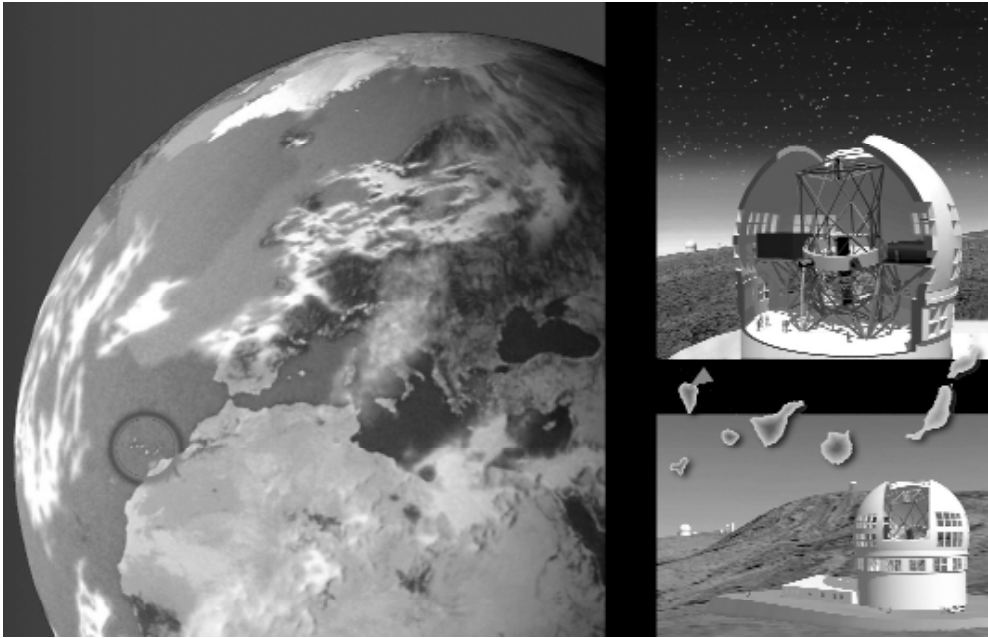
Aunque Galileo llegó a conseguir hasta 20 aumentos con sus *occhiali*, eran instrumentos muy rudimentarios. Sin embargo, comenzaron a ser profusamente utilizados por los astrónomos de la época y pronto empezaron a aparecer mejoras, como las de Kepler; hasta que Newton cambió las lentes por espejos e introdujo el telescopio reflector, mucho más eficaz para la observación astronómica. Fue la época de los primeros grandes catálogos de objetos astronómicos.

Los telescopios, cada vez más perfeccionados, también se fueron fabricando cada vez más grandes y la Astronomía empezó a ser una empresa de alto coste que necesitaba ser sufragada. Así, empezaron a aparecer los astrónomos reales, los Observatorios Astronómicos de la Marina y la Astronomía se profesionalizó.

El siguiente cambio drástico en la historia de la Astronomía tuvo lugar a finales del siglo xix. Por entonces, los telescopios eran bastante avanzados y precisos, capaces de observar estrellas muy débiles. Además, también se había desarrollado la espectroscopía, que consiste en separar la luz en sus componentes de longitud de onda, lo que son los colores en luz visible. Esto había impulsado los estudios sobre la estructura atómica y se estaba en condiciones de identificar los diferentes elementos de la naturaleza por su huella espectral, es decir, la combinación de líneas de emisión y absorción. De la aplicación de la espectroscopia a la Astronomía nació la Astrofísica, con la que, por fin, se podía tener información sobre la composición de las estrellas y las nebulosas. De este modo, la Astrofísica ha permitido estudiar los procesos físicos que se dan en el Universo y entender, por ejemplo, cómo se produce la energía en las estrellas, o cómo se forman las nebulosas.

Así, la Astrofísica, junto con las otras ciencias, entró en el siglo xx con los grandes cambios y la revolución científica que trajeron consigo la Teoría de la Relatividad y la Mecánica Cuántica. Durante las primeras décadas los telescopios se perfeccionaron rápidamente, mejorando la técnica de su construcción y desarrollando nuevos materiales, a la vez que se empezaron a construir grandes observatorios astronómicos con un interés exclusivamente científico. La aplicación de la Astronomía a la navegación no era ya tan importante, pero la aportación de la Astrofísica al conocimiento científico como ciencia básica sí lo era. Los telescopios empezaron a crecer de 2 a 3 y 4 metros, hasta llegar a los 5 metros del Telescopio Hale en el Observatorio de Monte Palomar, construido al final de la década de los cuarenta. Esto permitió desarrollar trabajos tan importantes como el estudio de la expansión del Universo, conclusión a la que llegó Edwing Hubble estudiando las velocidades de las galaxias y utilizando para ello el telescopio de 2,5 metros instalado en el Observatorio del Monte Wilson.

Las siguientes décadas supusieron una apertura de horizontes de la Astrofísica. Hasta ese momento, la herramienta utilizada por los científicos había sido el telescopio tradicional, sólo



Localización del Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM), en la isla canaria de La Palma, donde se está construyendo el Gran Telescopio CANARIAS (GTC).

Fuente: Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)

sensible a la luz visible por nuestros ojos. Es más, durante mucho tiempo se desconoció por completo la existencia de otra luz distinta a ésta; o, si se conocía, no se relacionaba con ella. Pero la luz, esa onda electromagnética que viaja en el vacío a la velocidad insuperable de 300.000 km/s, tiene otras "caras". Si descomponemos la luz visible, como lo hacen las gotas de lluvia al formar el arco iris, vemos una sucesión de colores. Cada uno de estos colores corresponde a una frecuencia diferente de esa onda electromagnética (los astrofísicos prefieren hablar en términos de longitud de onda, que es la distancia espacial entre dos picos de la onda). Nuestros ojos no son capaces de ver más allá del rojo hacia las ondas más largas y de menor frecuencia, ni después del violeta hacia las más cortas y de mayor frecuencia. Por eso tenemos la tendencia a pensar que la luz se acaba ahí, pero no es así. Más allá de estas frecuencias están el infrarrojo y el ultravioleta, respectivamente. Pero, todos hemos oído hablar también de rayos X, rayos gamma y, por supuesto, de ondas de radio y microondas.

Todo eso es luz: diferentes aspectos de una onda electromagnética, pero con otra frecuencia. Y lo mejor es que todas se pueden detectar. Proceden de todo el Universo en grandes cantidades y nos aportan una información muy valiosa, complementaria a la que recibimos de la luz visible.

Hay objetos astronómicos que sólo se pueden ver o estudiar en algunos rangos, en algunas frecuencias muy concretas. También hay procesos astrofísicos sólo observables en algunas longitudes de onda. Y los que se ven en todos los rangos ofrecen un aspecto diferente en cada uno. Así, la Astrofísica nos ofrece una nueva visión de lo que nos rodea. El símil sería la fotografía de una persona. Si se hace en el espectro visible, veremos su piel, con sus rasgos y colores. Si se ve en el infrarrojo, encontramos el calor que desprende y los cambios en su temperatura corporal. Si se ve en radio, se ve todo negro, pues no hay prácticamente emisión. En el otro extremo del espectro, si se observa en rayos X, veremos sus huesos. Si son rayos X blancos, incluso se puede ver la sangre circular o los músculos. Por último, si se ve en rayos gamma, el cuerpo será transparente, pues prácticamente lo atraviesan sin interactuar con él. Todo está en el mismo cuerpo, pero según la frecuencia en que se mire se ven cosas o aspectos distintos. Con los objetos astronómicos sucede lo mismo, por lo que los astrofísicos se han esforzado en desarrollar nuevos instrumentos.

En la década de los treinta ya se sabía que existían emisiones en radio de origen extraterrestre, inicialmente detectadas como ruido, pero que no podían identificarse por falta de resolución espacial en los equipos. Fue en la década de los cuarenta cuando se comenzaron a construir los primeros radiotelescopios que abrieron una nueva ventana a la Astrofísica. Con los nuevos radiotelescopios se descubrieron muchos objetos nuevos, como las estrellas de neutrones que, por la gran precisión en sus pulsos, en un principio se pensó que eran señales de seres inteligentes. De hecho, inicialmente se identificaron con las siglas inglesas LMG de *Little Green Men* (hombrecillos verdes), pero pronto se comprobó que se trataba de cadáveres de estrellas con un fuerte campo magnético, que giraban a gran velocidad, de ahí que recibían también el nombre de púlsares¹.

El siguiente paso fue llegar al infrarrojo, otra parte no visible del espectro electromagnético y que tiene frecuencias más bajas que el rojo. Posee un comportamiento óptico muy similar a la luz visible y, salvo algunos aspectos instrumentales, los telescopios usados para detectarla son similares. Sin embargo, nuestra atmósfera no es completamente transparente a esta radiación y sólo deja pasar algunas bandas. La atmósfera terrestre es básicamente transparente a la radiación visible, a algunas bandas del infrarrojo y en radio. Afortunadamente, a otras frecuencias es del todo opaca, actuando como un escudo protector; la vida en la Tierra no sería posible sin una atmósfera que impidiese el paso a los dañinos rayos ultravioleta, X o gamma.

Para observar adecuadamente en estos rangos es necesario evitar nuestra atmósfera. Así empezaron a construirse equipos que pudiesen ser enviados por encima de la atmósfera

¹ *Estrellas de neutrones o púlsar*: resto estelar de una explosión de supernova. Su estado se debe a un fuerte colapso gravitacional en el que los núcleos atómicos se funden, por lo que la estrella sólo se compone de neutrones. Posee una cantidad de materia similar a la del Sol pero concentrada en una esfera de unos 10 km de diámetro, de lo que resulta un cuerpo hiperdenso (10^5 g/cm³). En sus inicios, la rotación de una estrella de neutrones es muy rápida y emite pulsos de radiación electromagnética en periodos cortos y regulares que la llevan a ser conocida como "púlsar".

terrestre, primero a bordo de aviones y globos estratosféricos, y después en satélites artificiales. De este modo, se pudieron llevar a cabo programas completos de observación de todo el cielo en estas longitudes de onda con proyectos como ISO (*Infrared Space Observatory*) o IUE (*Internacional Ultraviolet Explorer*), por citar algunos de los más fructíferos en este campo.

Iniciada la puesta en órbita de satélites como estos, la idea también se extendió a otras longitudes de onda como los rayos X o los rayos gamma, realizándose numerosos proyectos en esta línea, como los desarrollados por los observatorios Chandra y XMM Newton, en rayos X, y CGRO (*Compton Gamma Ray Observatory*) e Integral (*International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory*), en rayos gamma.

Además de los ya de por sí grandes radiotelescopios, la tendencia actual es la construcción de grandes telescopios terrestres, en los espectros visible e infrarrojo, complementados por observatorios espaciales para éstas y otras longitudes de onda. La tecnología avanza a favor de los telescopios terrestres. Así, desde hace más de una década se viene desarrollando la técnica de "óptica adaptativa", que consiste en corregir las perturbaciones que crea la atmósfera terrestre en las imágenes observadas por efecto de las turbulencias. Un espejo deformable se modula de acuerdo con las distorsiones percibidas en la imagen de una estrella que se utiliza como patrón y así se compensan en la imagen del objeto principal. Con esta nueva técnica de óptica adaptativa instalada en grandes telescopios se puede conseguir prácticamente la misma calidad en las observaciones que fuera de nuestra atmósfera, pero con la tremenda diferencia del coste económico.

El aumento de tamaño en los telescopios tiene una razón fundamental. El poder de resolución de un telescopio, o de cualquier instrumento óptico, depende de su tamaño de apertura. Es decir, con un telescopio grande podremos distinguir dos puntos en la lejanía mejor que con uno pequeño. Los faros de un coche, por ejemplo, se ven como una única luz cuando están muy alejados. Eso se debe a que las pupilas de nuestros ojos son muy pequeñas. Utilizando un telescopio de 10 metros de diámetro seríamos capaces de verlos separados y distinguirlos a 20.000 km de distancia. También, al aumentar el tamaño de la superficie colectora se recibe más luz, algo que no sobra en el caso de la Astronomía. Es como cuando recogemos agua de lluvia con un plato: cuanto mayor sea el plato, más cantidad de agua recogeremos.

Estos proyectos, necesitados de una gran inyección de dinero, son financiados por consorcios internacionales promovidos por las instituciones científicas más prestigiosas en Astrofísica. Ejemplos de grandes telescopios son los telescopios Keck, en el Observatorio de Mauna Kea, en Hawái, los telescopios VLT, en el Observatorio Europeo Austral de Cerro Paranal, en Chile, y el Gran Telescopio CANARIAS (GTC), en el Observatorio del Roque de los Muchachos en La Palma. Ahora bien, observar en uno de estos grandes telescopios es un doble viaje en el tiempo. Por un lado, la tecnología punta que se aprecia en una de estas grandes instalaciones nos traslada hacia el futuro; por otro, la observación con un telescopio supone siempre un viaje al pasado, pues permite ver lo que ha sucedido hace miles o millones de años.

Radiotelescopios

La materia fría del Universo (constituida por grandes nubes de hidrógeno que no son calentadas por ninguna estrella brillante cercana) no se ve en el rango visible de la luz, pero se conocía su existencia por la identificación de regiones del Universo aparentemente vacías de estrellas, suponiéndose que eran nubes oscuras y opacas. Para observar estas nubes es necesario recurrir a los radiotelescopios: grandes colectores de ondas de radio procedentes del Universo.

El radiotelescopio más grande del mundo es el que se encuentra en el Observatorio de Arecibo, en Puerto Rico. Tiene más de 300 metros de diámetro de superficie, formada por aproximadamente 40.000 paneles de aluminio, y está construido sobre cuatro montañas, por lo que no es un radiotelescopio móvil. Con un cierto margen de apuntado, sólo puede observar lo que en ese momento pasa sobre el sitio y que va cambiando por el movimiento de rotación diario terrestre. Por este motivo y para que el rango de observación fuese mayor, se eligió un emplazamiento cercano al Ecuador.

Inicialmente se ideó para estudiar la ionosfera terrestre y los planetas cercanos, pero también ha servido para estudiar las propiedades de cometas y asteroides, y detectar las débiles señales emitidas cientos de veces por segundo por los pulsares en nuestra galaxia, y las de los cuerpos más lejanos del Universo: los cuásares², núcleos de galaxias activas. La ventaja de este radiotelescopio es que, mientras con otros se requieren varias horas de observación para estudiar objetos débiles, en Arecibo se puede hacer en sólo unos minutos.

En el Cáucaso, Rusia, existe un radiotelescopio todavía mayor, el RATAN-600 (pertenece a la Academia de Ciencia Rusa), de 576 metros de diámetro, pero su sensibilidad y resolución angular son muy limitadas.

En el Observatorio Nacional de Radio Astronomía de EEUU se encuentra el radiotelescopio móvil más grande del mundo, con una estructura metálica de más de 100 metros de diámetro y 7.300 toneladas de peso. Con él se estudian regiones de formación estelar y galaxias activas, habiendo encontrado lo que parecen ser los bloques de los que se forman las galaxias, y descubierto el agujero negro más joven jamás observado en el Universo.

El telescopio Lovell, en el Observatorio de Jodrell Bank (GB), es un radiotelescopio de 76 m de diámetro y 3.200 toneladas de peso, que permitió (1979) descubrir la primera lente gravitatoria, confirmando una de las predicciones de Einstein.

La instalación para radioastronomía más grande que existe es la red de radiotelescopios del VLA (*Very Large Array*). Consiste en 27 antenas de 25 m de diámetro dispuestas en forma de "Y" en Nuevo México (EEUU). Los datos recibidos por las antenas se combinan electrónica-

² *Cuásar*: objeto extragaláctico muy brillante de alto corrimiento al rojo, es decir, dado el alejamiento de la fuente de luz, se detecta un aumento de la longitud de onda, que se desvía hacia la parte roja del espectro electromagnético. Su apariencia es muy similar a la de una estrella. Emite luz y energía en radio. Se cree que está constituido por un agujero negro, un disco de acreción (disco formado por gases y otros materiales que son atraídos por un cuerpo con un campo gravitatorio muy intenso) y una galaxia.



El Gran Telescopio CANARIAS será el telescopio con espejo primario más grande del mundo.
Fuente: IAC

mente mediante la técnica de interferometría, que consiste en sumar las señales de forma coherente. Así se consigue un aumento de la resolución angular equivalente al de una antena única de 36 km. Gracias a su poder de resolución, se han estudiado algunos de los objetos más distantes del Universo, las regiones de formación estelar y los núcleos de las galaxias. También ha aportado datos muy valiosos sobre las características superficiales de Plutón y de su luna Caronte.

Pero, además de las ondas de radio que llegan de los objetos individualmente, desde 1965 se sabe que el Universo está impregnado de una radiación de fondo, remanente de la creación del Universo hace unos 13.800 millones de años. Esta radiación, a una temperatura de 3° K, llega de todas partes y estudiando sus características se ha podido comprobar cómo es el Universo.

La instalación VSA (*Very Small Array*) es uno de los instrumentos que se utilizan para el estudio de la radiación de fondo cosmológico. Está ubicada en el Observatorio del Teide, en Tenerife, y es el resultado de una colaboración entre el Observatorio de Radio Astronomía de Mullard de Cambridge, la Universidad de Manchester y el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC).

Telescopios milimétricos: el Universo frío

Las ondas milimétricas, o microondas, se encuentran entre las ondas de radio y el infrarrojo lejano, siendo interesantes por la posibilidad de detectar nubes de gas y polvo a una temperatura baja en el medio interestelar, el medio en el cual se forman las estrellas.

El ALMA (*Atacama Large Millimeter Array*), un proyecto conjunto en el que participan EEUU, Canadá, el Observatorio Europeo Austral, España y Chile, será un observatorio para la detección de ondas milimétricas. Actualmente, está en proyecto su instalación en el desierto de Atacama, Chile, uno de los lugares más secos de la Tierra, la característica más buscada para la observación en estas longitudes de onda. Consistirá en una red de no menos de 64 antenas de 12 metros cada una que se podrá distribuir en configuraciones de hasta 10 km de extensión. La resolución angular conseguida superará de largo la que tienen los mejores telescopios actuales como VLA o el Telescopio espacial Hubble.

Además, actualmente, se encuentra en construcción el Gran Telescopio Milimétrico (GTM), un esfuerzo conjunto del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) en Tonantzintla, México, y la Universidad de Massachusetts (UMass) en Amherst (EEUU).

Telescopios solares

El Sol es la estrella más próxima a la Tierra y podemos verlo a simple vista (con las debidas precauciones para no dañar nuestros ojos). Sin embargo, a pesar de esta proximidad y de la consecuente facilidad para la observación, desconocemos muchas cosas de él. No es una estrella muy diferente a las demás que podemos ver en nuestra galaxia o en otras galaxias; pero en él se pueden apreciar procesos físicos que no tienen fácil explicación. Por eso, los estudios teóricos son fundamentales para avanzar en el conocimiento de lo que sucede en el Sol; pero también la observación es necesaria.

La observación del Sol es muy diferente a la del resto de estrellas y objetos astronómicos. Las estrellas que vemos de noche aparecen muy débiles, y se necesita una gran capacidad colectora en el telescopio para poder detectarlas, analizarlas y estudiarlas. Con el Sol sucede lo contrario: hay tanta luz que es necesario evacuarla para que no se calienten excesivamente los elementos ópticos del telescopio o los detectores. Además, como en el momento de la observación el Sol está calentando el suelo, crea turbulencias en el entorno, de forma que para minimizarlas se sitúan los telescopios en torres elevadas.

Sin embargo, en el Sol, se han descubierto muchos procesos físicos muy interesantes que pueden ser la clave para encontrar respuestas a los fenómenos que se producen a escalas espaciales muy pequeñas, como lo que sucede en los bordes de las manchas solares. Así, para observar detalles en la superficie solar, es obligatorio dotar a los telescopios solares de grandes aperturas que aumenten la resolución espacial de las observaciones y recurrir a las

técnicas de óptica adaptativa para corregir los efectos de la turbulencia atmosférica sobre las imágenes.

En esta línea, el Telescopio Solar Sueco (SST), instalado en el ORM, en La Palma, es actualmente el telescopio solar más grande de alta resolución. Gracias a su calidad óptica, con una lente frontal de un metro de diámetro, y al estar ubicado en el mejor emplazamiento del planeta para telescopios solares, los investigadores pueden ver y fotografiar los detalles más pequeños de la superficie del Sol, de incluso sólo 70 km de tamaño. El Instituto de Física Solar, de la Real Academia de Ciencia Sueca, opera este telescopio.

El Telescopio Solar McMath-Pierce, en el Observatorio de Kitt Peak, en Arizona (EEUU), es el de mayor apertura, con un diámetro de 1,5 metros. Es una estructura compleja que comprende tres telescopios en uno, pudiéndose utilizar concurrentemente o de manera independiente, y está dotado de un espectrógrafo solar de 13,6 metros. Esto le proporciona una capacidad única para observar el Sol en diferentes longitudes de onda, en particular en el relativamente inexplorado rango infrarrojo más allá de 2,5 micras. Este telescopio forma parte del Observatorio Nacional Solar (NSO) de EEUU.

El THEMIS (Telescopio Heliográfico para el Estudio del Magnetismo y de las Inestabilidades Solares) se concibió por un equipo de astrónomos franceses del Observatorio de Meudon-París. Actualmente, THEMIS es una colaboración entre Italia y Francia. Con sus 90 cm de diámetro, fue durante mucho tiempo el mayor telescopio solar; y ahora lo es del Observatorio del Teide (Tenerife), donde se encuentra una de las baterías de telescopios solares mejores del mundo. Pero, su especial diseño para medir la intensidad y la dirección del campo magnético solar, junto con la capacidad para operar simultáneamente en diversas bandas, fundamental para este tipo de estudios, unido a la instrumentación de THEMIS, que permite obtener datos experimentales sobre la estructura de la atmósfera solar en 3 dimensiones, hacen de este telescopio solar una pieza única en su género.

Telescopios Cherenkov: el mundo de las altas energías

Hay un tipo de telescopios que observan la luz en el rango óptico, pero cuyo interés radica en el estudio de objetos astronómicos muy energéticos como los núcleos de galaxias activas, los remanentes de supernovas³ o los brotes de rayos gamma. Estos objetos, en general, emiten débilmente en el rango óptico. Sin embargo, los rayos gamma y cósmicos que nos llegan de ellos

³ *Supernova*: fase final en la vida de una estrella muy masiva en la que ha agotado todo el combustible de sus capas internas, por lo que se vuelve inestable y se contrae bruscamente. Entonces, sufre una gigantesca explosión con gran liberación de energía, pudiendo incrementar su luminosidad varios miles de veces. En un par de segundos emite tanta energía como en el resto de su vida. Gran parte de su masa es lanzada al medio interestelar y el núcleo restante se transforma en una estrella de neutrones (o púlsar) o en un agujero negro.

producen series de cascadas de partículas muy energéticas y veloces en su colisión con las capas altas de nuestra atmósfera. Las partículas que llegan a las capas más bajas de la atmósfera producen una luz azulada denominada luz de Cherenkov, que se produce cuando una partícula viaja más rápido que la velocidad de la luz en ese medio (la velocidad de la luz en el vacío es el límite universal de velocidades, pero en un medio como el aire, la luz viaja a menor velocidad).

MAGIC (*Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov Telescope*) es una colaboración científica internacional formada por institutos de investigación y universidades de España, Alemania, Italia, Finlandia, Polonia, Suiza, Armenia, Rusia y EEUU. Los tres primeros países son los principales responsables de la construcción de este instrumento. MAGIC tiene 17 metros de diámetro formados por unos 1.000 paneles y está instalado en el ORM, en La Palma. Con este instrumento, el mayor telescopio de Cherenkov del mundo, se pueden detectar rayos gamma en un umbral energético de menos de 50 GeV. Los destellos de luz de Cherenkov se producen a una altura muy elevada y brillan sólo durante unas mil-millonésimas de segundo; de ahí la importancia del tamaño del telescopio MAGIC para percibir estos destellos de luz tan débiles y fugaces.

Telescopios ópticos e infrarrojos

Los telescopios más convencionales son los ópticos e infrarrojos. Ambos están basados en los principios de óptica tradicionales de reflexión y refracción. Los primeros telescopios eran refractores, es decir, una lente actuaba como elemento colector y dirigía la luz que entraba hacia el foco donde se situaba el instrumento, en aquella época solía ser una placa fotográfica o el ojo humano desnudo. Actualmente, los telescopios profesionales son reflectores, en los que el elemento colector es un espejo curvado. El instrumento ahora es mucho más complejo y consiste en un espectrógrafo, un polarímetro o una cámara CCD (del inglés: *Charge Coupled Device*, "dispositivo de carga acoplada") que se utiliza en las cámaras digitales para capturar imágenes. También ha cambiado la disposición de la estructura que soporta el telescopio, lo que se llama montura. Hasta hace treinta años se construían ecuatoriales, de modo que el plano sobre el que se levantaba el telescopio estaba inclinado, paralelo al ecuador terrestre. Así, los movimientos del telescopio para apuntar a una estrella y para seguirla por la rotación terrestre eran mucho más sencillos. Por el contrario, la estructura tenía que ser más robusta y pesada, lo que ponía un límite muy restrictivo al tamaño del telescopio.

Para construir telescopios más grandes hubo que recurrir a la montura altacimutal, en la que el telescopio está construido horizontalmente. La estructura puede ser más ligera, pero los movimientos requeridos son más complicados, por lo que su desarrollo no fue posible hasta que los sistemas de control de los telescopios se informatizaron. Ahora se construyen telescopios de seis, ocho y hasta diez metros de diámetro y se coordinan entre sí para hacer interferometría óptica.

Igualmente, la evolución de los materiales ha permitido mejorar las capacidades ópticas de los telescopios. El elemento colector, el espejo, es un vidrio. Conseguir un material resistente, ligero y con una mínima dilatación por cambios de temperatura, ha sido un reto. Materiales como el duralex o el zerodur™ lo han hecho posible. Asimismo, en los telescopios más avanzados, el elemento colector ya no es un espejo único, sino un conjunto de espejos que se acoplan para producir el equivalente de una superficie reflectora mucho más grande.

El VLT (*Very Large Telescope*) es una de las instalaciones telescópicas más eficientes y avanzadas. Se compone de una batería de cuatro telescopios idénticos de 8,2 metros de diámetro de espejo monolítico, instalados en el Observatorio de Cerro Paranal perteneciente al Observatorio Europeo Austral (ESO), del que son socios varios países europeos. Con su resolución óptica sin precedente y su superficie colectora, VLT es capaz de producir imágenes de una calidad extraordinaria y puede registrar la luz de los objetos más débiles y alejados del Universo.

En el Observatorio de Mauna Kea, en Hawai, y en el Observatorio de Cerro Pachón, en Chile, se encuentran los dos telescopios óptico-infrarrojo gemelos del Observatorio Gemini. Al estar situados en los dos hemisferios este observatorio tiene acceso a todo el cielo. Ambos telescopios, de 8 metros de diámetro, han sido diseñados para beneficiarse de la última tecnología, como la óptica adaptativa multiconjugada y la espectroscopia multiobjeto. Gemini es una colaboración de siete países: EEUU, Reino Unido, Canadá, Chile, Australia, Brasil y Argentina.

Subaru es un telescopio óptico-infrarrojo instalado en el Observatorio de Mauna Kea, en Hawai. Representa una nueva generación de telescopios, no sólo por el tamaño de su espejo primario, con una apertura efectiva de 8,2 metros, sino por su revolucionario diseño. Un sistema de soporte activo y la cúpula, diseñada para eliminar la turbulencia atmosférica local, mantienen una alta calidad de imagen. El Telescopio Subaru, así denominado por el nombre en japonés del cúmulo de las Pléyades, pertenece al Observatorio Astronómico Nacional de Japón.

También en el Observatorio de Mauna Kea, en Hawai, se encuentran los que son actualmente los telescopios ópticos más grandes. Cada uno con un espejo primario equivalente a 10 metros de diámetro, compuesto de 36 segmentos hexagonales y 300 toneladas de peso, pero operadas con precisión nanométrica. Son los dos telescopios del Observatorio W. M. Keck. La baza fundamental de este telescopio es su tamaño y la óptica activa ejercida sobre los segmentos del espejo primario, que hacen de él una superficie mejor que la de un espejo único. Además, la existencia de dos telescopios gemelos posibilita la combinación de la luz de ambos para dar lugar al Interferómetro Keck. Así, es posible responder a preguntas como las relativas a la evolución del Universo hasta el estado actual, la tasa de formación de estrellas en las galaxias o la formación del Sistema Solar.

El Telescopio Hobby-Eberly (HET) posee 9 metros de diámetro, fue construido gracias a la colaboración internacional entre la Universidad de Texas, en Austin, la Universidad del Estado de Pennsylvania y la Universidad de Stanford (EEUU), el *Ludwig-Maximilians-Universitaet Muenchen* y el *Goerg-August-Universitaet Goettingen*, en Alemania. Tiene un diseño único

que posibilita la construcción de un instrumento de observación astronómica de calidad científica a un coste reducido. El espejo primario es esférico, con el eje óptico inclinado 35° con el cenit y sólo se mueve en el sentido horizontal (acimut), con lo que los efectos de las deformaciones por la gravedad son inexistentes (similar al modelo del Radiotelescopio de Arecibo). En el futuro este modelo de telescopios de bajo coste y elevadas prestaciones científicas va a ser utilizado en otros como el Gran Telescopio Sudafricano (SALT) que se está instalando en el Observatorio Astronómico de Sudáfrica.

Los cielos de Canarias

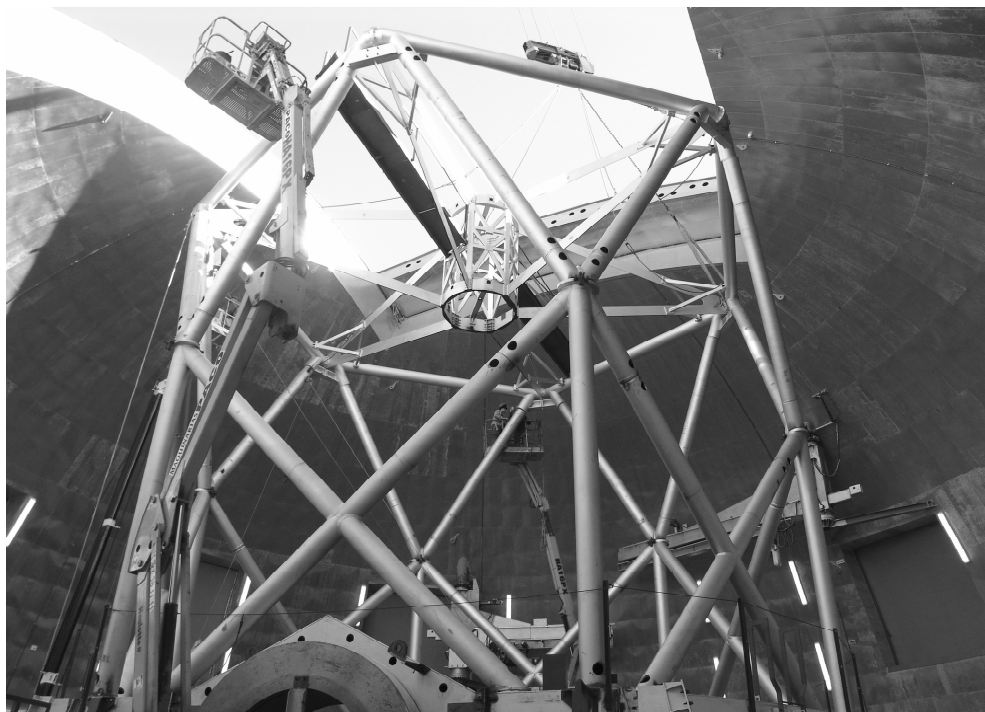
El ORM, se encuentra en la isla canaria de La Palma y está situado al borde del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente, en el término municipal de Garafía, a 2.400 metros sobre el nivel del mar, por encima del "mar de nubes". Se trata de un lugar privilegiado para la actividad astrofísica por la atmósfera transparente y estable que le proporcionan los vientos Alisios. Es, además, uno de los lugares mejor estudiados para la observación astronómica. Allí geografía y clima se unen, proporcionando unas condiciones excepcionales para la observación astronómica; de ahí que en el ORM se encuentre una de las baterías de telescopios más completa del mundo en la que se llevan a cabo campañas constantes y continuas prospecciones con el fin de analizar la calidad y transparencia de la atmósfera, garantizando la calidad observacional.

Por su parte, en el Observatorio del Teide (OT), en Tenerife, dada su situación geográfica (entre los observatorios solares del este y del oeste), unida a la transparencia y excelente calidad astronómica de su cielo, la actividad se reserva preferentemente al estudio del Sol, concentrándose en él los mejores telescopios solares europeos.

Pero, como veremos a continuación, antes de la creación de ambos Observatorios hubo un largo camino de trabajo e investigación.

La historia contemporánea de la Astronomía en Canarias se inicia con las expediciones astronómicas del siglo XIX. El astrónomo británico Piazzi Smyth demostró, en 1856, basándose en las afirmaciones de Newton, que los sitios de gran altitud ofrecían claras ventajas para la observación astronómica. Llegó a esta conclusión después de realizar observaciones a diversos niveles en Tenerife, desde el mar hasta las montañas de Guajara (2.717 m) y Altavista (3.250 m), junto al pico del Teide. En 1910, el astrónomo francés Jean Mascart vino expresamente a Canarias para ver el paso del cometa Halley, y quedó tan satisfecho de las condiciones para la observación astronómica que ofrecían las cumbres de Tenerife que propuso la creación de un observatorio internacional en la Montaña de Guajara. Un proyecto que se vio paralizado por la Primera Guerra Mundial.

En 1959 numerosos astrónomos de todo el mundo visitaron nuevamente las Islas para observar un eclipse de Sol. Volvió entonces a despertarse el interés por la instalación de un



El pasado mes de enero finalizó la instalación de la estructura mecánica del Gran Telescopio CANARIAS.
Fuente: IAC

observatorio permanente. Ante la demanda del mundo de la Astronomía y la Astrofísica, España comenzó a dar los pasos necesarios para crear un observatorio astrofísico en Tenerife. Pronto quedaron demostradas las excelentes condiciones del lugar para este tipo de investigación y se inició la formación del primer grupo español de Astrofísica. En la década de los sesenta se realizaron las primeras prospecciones astronómicas de Tenerife, basadas en medidas sistemáticas, y en 1970 se inauguraba el Observatorio del Teide, que pasó a depender del rectorado de la Universidad de La Laguna.

En 1964, el Observatorio de Burdeos instaló un telescopio fotoeléctrico en Izaña (OT). Y, posteriormente, a principios de los setenta se instaló un telescopio solar y, en 1972, un telescopio para el infrarrojo de 1,5 metros (el actual Telescopio "Carlos Sánchez").

Demostrada ya la bondad de los cielos canarios para la observación astronómica, se inició en la década de los setenta la construcción del ORM, en La Palma.

Tras las correspondientes negociaciones con diversas instituciones científicas europeas interesadas en instalar telescopios en Canarias, el Observatorio se abrió a la participación internacional con la firma, en 1979, de los Acuerdos de Cooperación en Astrofísica, que regulan la

explotación del cielo de Canarias. A través de ellos, más de 62 instituciones científicas de 19 países, tienen hoy instrumentos astrofísicos instalados en Canarias. De hecho, Canarias es el Observatorio Norte Europeo (ENO), uno de los tres paraísos astronómicos más importantes de nuestro planeta.

En 1985 tuvo lugar la inauguración oficial del IAC y de los Observatorios Internacionales del Teide y del Roque de los Muchachos.

Pero en el IAC no sólo se investiga en Astrofísica. También se trabaja en otras facetas como el desarrollo de instrumentación para telescopios, otras aplicaciones tecnológicas (cuyos descubrimientos se aplican a diferentes áreas como la instrumentación médica, telecomunicaciones, etcétera), la formación, con doctorados y postdoctorados en los que se forma a los estudiosos e investigadores de la Astrofísica; o la difusión cultural, por ejemplo, a través del "Museo de la Ciencia y el Cosmos", en el que se despierta la curiosidad de los estudiantes con respecto al misterioso mundo de las estrellas. Además, el IAC edita varias publicaciones, organiza cursos, y mantiene una página de Internet a disposición de los usuarios en la que se informa de todo lo que ofrece el Instituto y de su funcionamiento.

Actualmente están integrados en el IAC la Administración General del Estado (Ministerio de Educación y Ciencia), el Gobierno de Canarias, la Universidad de La Laguna y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

La "Ley del Cielo"

La civilización moderna ha traído consigo numerosos avances que, para no dificultar la observación astronómica, a veces deben ser controlados. Así, la luz excesiva o contaminación lumínica que surge de los núcleos de población, y demás influencias negativas, como la contaminación radioeléctrica, las rutas aéreas y la contaminación atmosférica, están controladas en Canarias desde 1988 por la "Ley del Cielo", una normativa que preserva la calidad astronómica para los observatorios. Además, el IAC dispone de una Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo (OTPC) centrada en la aplicación permanente de esta ley. Asimismo, dispone de un grupo científico que se ocupa del seguimiento continuo de los parámetros que determinan la calidad astronómica de los observatorios del IAC (Grupo de Calidad del Cielo).

Un telescopio especial: el "Gran Telescopio CANARIAS" (GTC)

El proyecto del GTC arrancó de la mano del IAC, que puso de manifiesto la necesidad de disponer de un instrumento de este tipo para seguir avanzando en el campo de la Astrofísica, una ciencia que ha tenido en España un auge espectacular en muy poco tiempo, con un incremento

destacado en el número de investigadores, así como en la calidad y cantidad de sus publicaciones. De ahí la iniciativa de satisfacer las exigencias y necesidades de los astrofísicos españoles.

Por otra parte, España no participaba en los proyectos de los nuevos grandes telescopios que estaban en marcha (Keck, GEMINI, VLT, etcétera). Era, pues, necesario disponer de un instrumento propio, y de última generación, que enriqueciese el ORM y lo mantuviese al nivel de los mejores observatorios del mundo.

En el año 2006, fecha prevista para el inicio de su funcionamiento, será uno de los telescopios más avanzados y con mejores prestaciones para la investigación astronómica. El telescopio ha sido construido en su mayor parte a través de contratos con empresas españolas (un 70%), aunque hay un gran número de empresas extranjeras contratadas. Asimismo, el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), y el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM), cofinanciadas por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT), así como la Fundación para la Investigación de la Universidad de Florida (EEUU), aportan un 10% del presupuesto del telescopio y de otras actuaciones e inversiones preparatorias previas a su explotación. Como contrapartida, obtendrán un 5% del tiempo de observación y contribuirán, también con un 5%, a los gastos de operación del GTC, contemplando, además, en el caso de México, el intercambio de tiempo de observación entre el GTC y el Gran Telescopio Milimétrico (GTM). Con estos acuerdos se ha iniciado la internacionalización del proyecto GTC.

El Gran Telescopio CANARIAS es un telescopio reflector, es decir, emplea espejos en lugar de lentes, para recoger la luz. Observará la luz visible y la infrarroja procedentes de los objetos celestes y cuenta en su diseño con las últimas innovaciones tecnológicas.

El espejo primario del GTC fue pensado para alcanzar un tamaño de 10 metros de diámetro, para lo cual fue necesario diseñar y fabricar un espejo segmentado, ya que sería imposible la manipulación y el traslado de un espejo único de ese tamaño. Éste está compuesto por 36 piezas hexagonales que unidas tienen un tamaño equivalente al de un espejo circular de 10,4 metros de diámetro. Aparte del espejo primario, se utilizan un espejo secundario y un tercer espejo para enviar la luz a los focos donde se ubican los instrumentos científicos.

La montura, estructura que soporta el telescopio y sobre la que éste se mueve, es altacimutal, es decir, los movimientos se realizan según dos ejes, el horizontal y el vertical.

Por ser el último de esta generación de grandes telescopios que se está construyendo, el GTC ha intentado mejorar el diseño de sus predecesores, aprendiendo de su experiencia. Ya que, junto a la gran superficie colectora es muy importante la calidad de imagen, el GTC utilizará dos técnicas para optimizarla: la óptica activa y, más adelante, la óptica adaptativa. Con la primera se alinean, deforman y mueven los espejos (segmentos del primario y espejo secundario) para mantener de un modo preciso la posición y forma de los mismos, independientemente de las condiciones externas (climatología, temperatura, gravedad, defectos de fabricación, etcétera) de manera que no influyan sobre la imagen. La óptica adaptativa es, en la actualidad, una técnica incipiente que está siendo desarrollada para los principales teles-

copios del mundo y, una vez implantada, equivaldrá casi a observar sin atmósfera.

A todo esto hay que sumar una cúpula protectora del telescopio que está preparada para evitar al máximo la existencia de turbulencias externas e internas que puedan degradar la imagen; y una estructura mecánica, diseñada para que la observación se realice libre de vibraciones que podrían restar nitidez a las imágenes.

El GTC pretende lograr un óptimo aprovechamiento del tiempo de observación mediante el sistema de observación por colas (proceso que decidirá automáticamente qué instrumentación y qué tipo de observación conviene hacer conforme a las condiciones atmosféricas de cada momento). Además, utilizará un avanzado sistema de control y dispondrá de una alta fiabilidad de funcionamiento gracias a un programa de mantenimiento preventivo, diseñado para percibir posibles fallos antes de que se produzcan, garantizando que el tiempo de parada producido por estos fallos en el sistema sea mínimo.

Pero, además, un telescopio necesita instrumentación focal, (lo contrario sería como tener una cámara fotográfica y no disponer de carrete), por lo que el GTC contará con varios instrumentos científicos de última generación que permitirán analizar la luz visible e infrarroja.

Los instrumentos, ubicados en las estaciones focales del telescopio, captarán la luz, formando imágenes directas (las que detecta el ojo humano) e imágenes espectroscópicas (mediante espectrógrafos se selecciona una parte de la imagen, separándola en sus diferentes longitudes de onda). Estos instrumentos serán OSIRIS, CanariCam, ELMER y EMIR.

Actualmente se han terminado los trabajos de construcción de la cúpula y la estructura mecánica, iniciándose una fase de ajustes y puesta a punto de esta compleja mole de 300 toneladas de acero al carbono.

El GTC podrá llegar a "ver" los objetos más distantes y los más débiles de nuestro Universo. Entendamos esto como un viaje en el tiempo: la luz que recibimos de los objetos más alejados del Universo empezó su periplo hace más de 10.000 millones de años, por lo que podremos obtener respuesta a muchas preguntas sobre la creación del Universo conocido.

Con el GTC distinguiremos sistemas planetarios en estrellas de nuestros alrededores, podremos conocer la materia oscura; descubrir, oculto tras las densas nubes moleculares, el "nacimiento" de estrellas; "ver" las galaxias más alejadas y los cuásares; estudiar más a fondo las características de algunos agujeros negros y su evolución; o saber cuáles son los componentes químicos creados tras el "Big Bang". Por supuesto, hallar planetas similares al nuestro alrededor de otras estrellas es una de las metas emblemáticas del GTC.

En definitiva, con este gran telescopio se intentará contestar a algunas de las preguntas que surgen ante la observación de un infinito cielo estrellado.

Más información en: www.iac.es
www.gtcdigital.net
www.caosyciencia.com