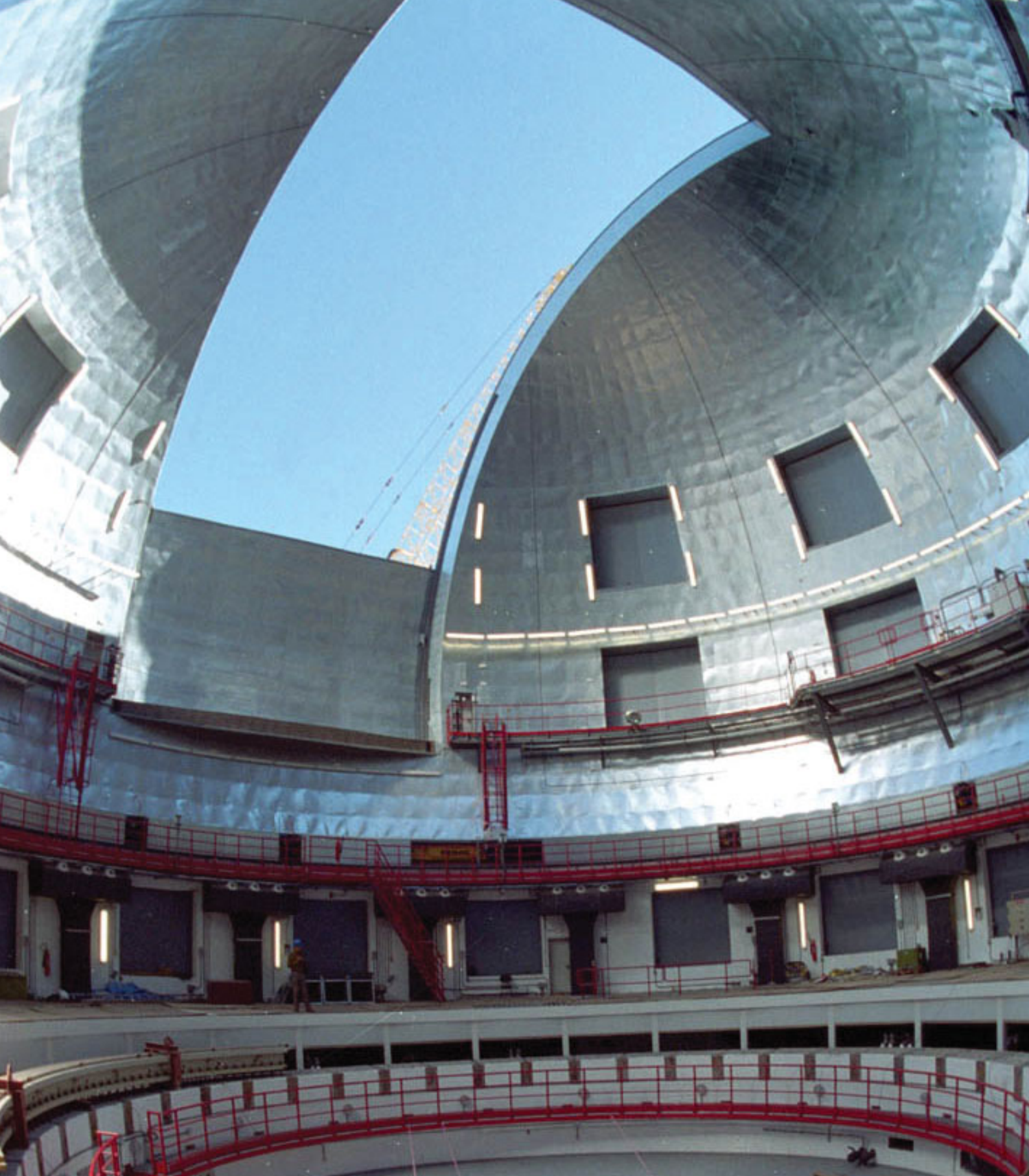
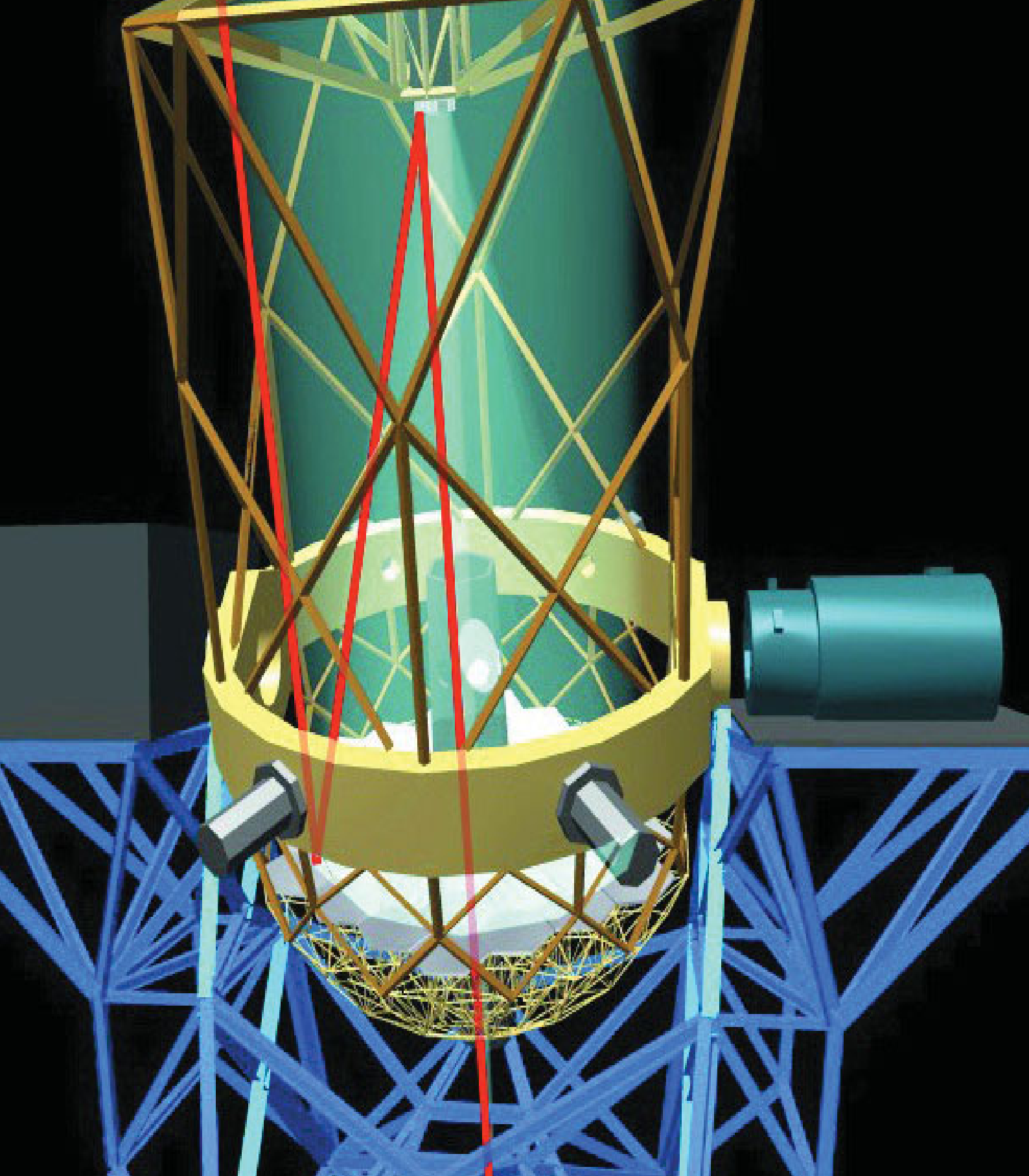


# Gran Telescopio CANARIAS



<b>Indice</b>	<b>Página</b>	
	5	I. De los <i>occhiali</i> al Gran Telescopio CANARIAS
	15	II. Gran Telescopio CANARIAS
	16	III. Características del GTC
	19	IV. Presupuesto del GTC
	19	V. El GTC, un telescopio hecho a la medida de los científicos
	21	VI. Programas científicos
	26	VII. El emplazamiento: El Observatorio del Roque de los Muchachos
	31	VIII. El Observatorio Europeo del Norte
	32	IX. El Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)
	34	X. Glosario

Vista interior de la cámara del telescopio el 18/02/03.  
© Miguel Briganti (IAC)



# I. De los *occhiali* al Gran Telescopio CANARIAS

Galileo conoció en 1609 un invento holandés consistente en un tubo en cuyos extremos se habían colocado sendas piezas de cristal curvado, con el resultado de que al mirar a través de él se agrandaban el tamaño de los objetos lejanos. El utensilio, usado hasta entonces con fines militares por su indudable utilidad en el campo de batalla, le sugirió la idea de construir él mismo un par de instrumentos similares para dedicarlos al estudio del firmamento. Así nacieron con el nombre de *occhiali* los primeros telescopios, con los que llegó a alcanzar hasta 20 aumentos.

Hay quien sostiene que Galileo no emprendió la construcción de los *occhiali* con una motivación exclusivamente científica, sino para lograr beneficios materiales y su propia promoción personal. Las demostraciones que hiciera de las posibilidades de su invento en la República de Venecia parece que tuvieron mucho que ver con su nombramiento de por vida y con doble salario como titular en la cátedra de Padua, sede de la universidad veneciana, donde enseñaba geometría y astronomía a los estudiantes de medicina.

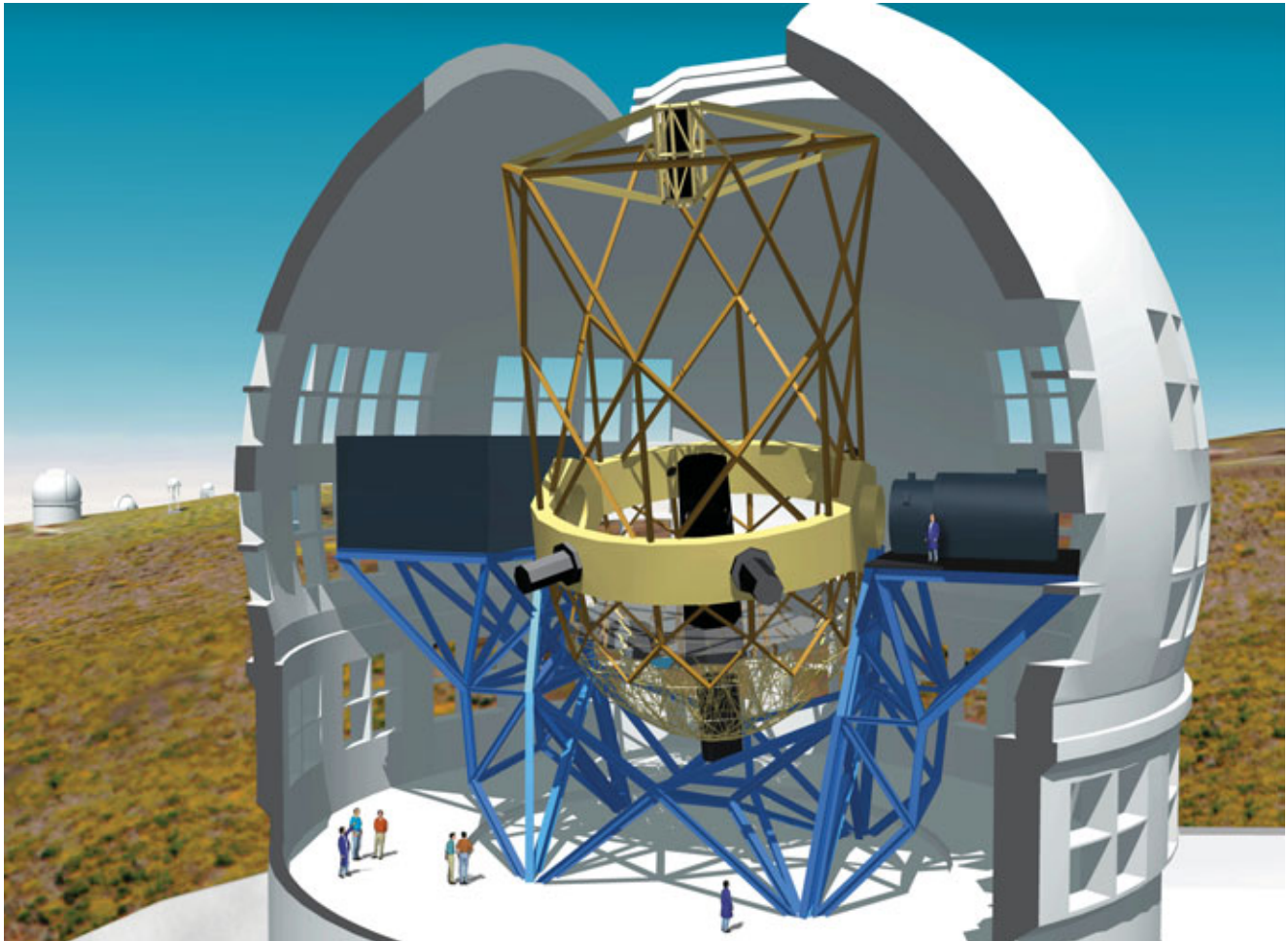
Y es que, por aquel entonces, los médicos recurrían a la astrología cuando su sapiencia como galenos se agotaba, por lo que necesitaban conocer los rudimentos de la astronomía, para cuyo conocimiento, a su vez, eran precisos siquiera unos rudimentos de geometría.

De las primeras observaciones con sus telescopios dio cuenta en el libro *Mensaje desde las estrellas* (Venecia, 1610), en el que describía sus descubrimientos, como las montañas de la Luna o las "estrellas de Médicis", nombre con el que bautizó intencionadamente a los satélites de Júpiter, lo que le valió ser nombrado para el puesto de Matemático y Filósofo -es decir, Físico- del Gran Duque de la Toscana, Cósimo II. A partir de ese momento, continuará sus estudios con mayor tranquilidad en Florencia, en una etapa que fue probablemente el apogeo de su carrera.

El telescopio de Galileo tenía una lente objetivo convexa y una ocular cóncava, con lo que producía imágenes no invertidas y virtuales. Posteriormente Kepler, que en su obra *Paralipomena ad Vitellionem* ya había desarrollado los fundamentos teóricos de la refracción, proyectó telescopios con una lente ocular también convexa, que, si bien producen imágenes invertidas, son más adecuados para usos astronómicos.

Las consecuencias de orientar aquellos artefactos hacia el cielo fueron inmediatas. El universo se agrandaba, aparecían nuevos cuerpos celestes y se apreciaban detalles hasta ese momento ocultos a simple vista. La aplicación de aquel instrumento a la observación del universo es uno de los momentos más preclaros de los beneficios que a la investigación científica le aporta la aplicación de la innovación tecnológica.

Composición de un modelo 3D del GTC  
con una panorámica del Observatorio  
del Roque de los Muchachos.  
© Gabriel Pérez (SMM/IAC)



En 1668 Newton construyó su propio telescopio, un aparato muy mejorado en comparación con sus antecesores, pues su óptica se benefició de los profundos conocimientos del genio de Cambridge respecto a la propagación de la luz. Se trataba del primer telescopio reflector, en el que la luz es reflejada por un espejo y no por los cristales, como en los telescopios refractores. Con esta innovación consiguió la desaparición de las aberraciones ópticas tan comunes en los largos tubos de lentes utilizados hasta entonces.

En el telescopio de Newton, un espejo cóncavo recoge la luz, la refleja a un segundo espejo plano situado en un ángulo de 45 grados, que a su vez la envía fuera del tubo, donde se coloca el ocular para hacer la observación. El diseño del telescopio newtoniano, nombre con el que sería conocido, fue utilizado durante los dos siglos siguientes, pues unía a su calidad la ventaja añadida de que tallar grandes espejos cóncavos era relativamente fácil.

William Herschel, el descubridor de Urano, repartía su tiempo entre las observaciones astronómicas y su actividad de constructor de telescopios, en la que alcanzó una gran reputación, por lo que eran numerosos los encargos que recibía para construir reflectores, sobre todo de astrónomos profesionales.

La innovación más destacada que introdujo Herschel en sus telescopios fue la incorporación de una montura estable y precisa que mejoró notablemente su exactitud, precisión y seguridad sobre los modelos precedentes. Personalmente, Herschel utilizó para sus observaciones astronómicas el segundo mayor telescopio de los que fabricó; estaba construido en una aleación de cobre y estaño, tenía un espejo principal de casi medio metro de diámetro y un tubo de seis metros de longitud; de su rendimiento no cabe alimentar ninguna duda, puesto que Urano fue el primer planeta descubierto por un telescopio.

Ese mismo telescopio fue el que utilizó su hijo John para observar el cielo austral desde Ciudad del Cabo, en Sudáfrica, circunstancia que le convierte en el único telescopio de la historia que ha observado, desde la superficie terráquea, la esfera celeste completa y por parte del mismo astrónomo.

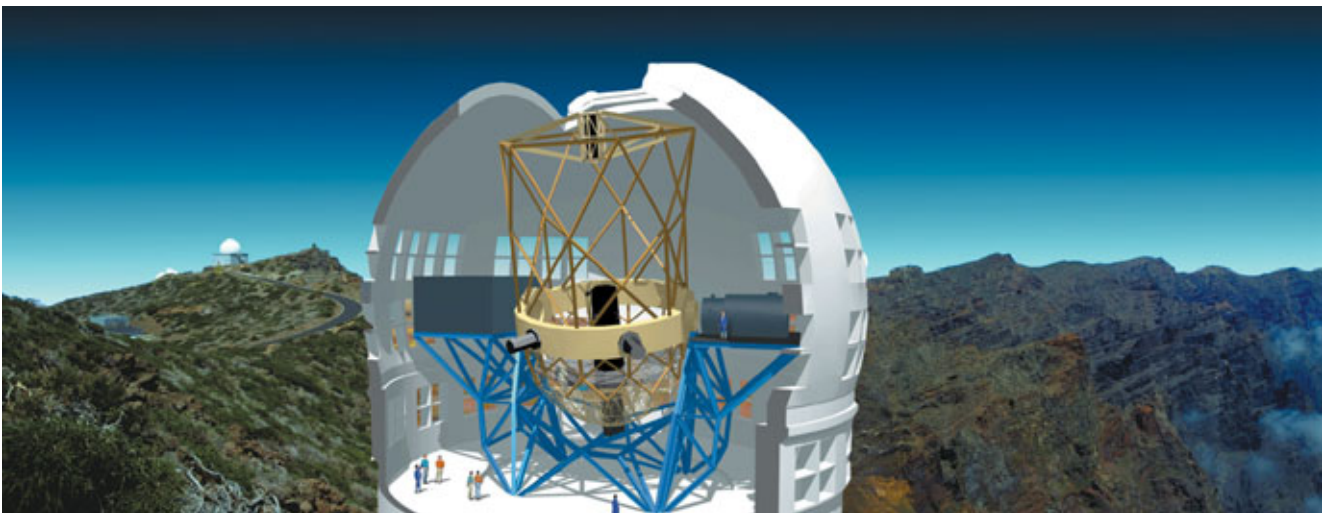
Entre 1842 y 1845 William Parsons construyó el mayor telescopio fabricado hasta ese momento, con un espejo metálico de 1,8 metros de diámetro y un peso de 4 toneladas, y cuyas medidas no fueron superadas hasta principios del siglo XX.

Se había alcanzado el nivel técnico que permitía superar el tamaño de telescopios de un metro de diámetro utilizando espejos. Sin embargo, los espejos, compuestos de una aleación de cobre y estaño, se deslustraban rápidamente. Los progresos de la química vinieron a resolver el problema a mediados del siglo XIX. El método consistía en depositar una fina capa de plata metálica sobre la superficie pulida de un disco de vidrio, con lo que se conseguía un espejo de mayor capacidad de reflexión que los metálicos. Además, eran más baratos y más fáciles de tallar y permitían tamaños mayores que los de metal. Uno de los primeros observatorios en disponer del nuevo telescopio, instalado en 1895, fue el de Lick, en California, con un reflector de 91 centímetros.

En 1894, Percival Lowell (1855-1916) comenzó a construir un observatorio privado en Arizona dotado de los telescopios más avanzados de su tiempo. Lowell estaba convencido de la existencia de seres inteligentes en Marte, pues achacaba las líneas que cruzaban el planeta a canales artificiales cuya construcción demostraba su teoría. Los atractivos dibujos de Lowell, difundidos para apoyar sus tesis, despertaron un enorme interés en la sociedad norteamericana, hasta tal punto que durante muchos años permaneció asentada la creencia en la existencia de los marcianos.

En los últimos años del siglo XIX y primeros del XX se construyeron telescopios de grandes dimensiones que permitieron un significativo avance en los conocimientos astronómicos. El Observatorio de Paris-Meudon, por ejemplo, disponía de uno de 83 centímetros de diámetro. El record lo consigue el instalado en 1897 en el emplazamiento de LaYerkes, cerca de Chicago, que, con una lente de 101 centímetros, sigue siendo hoy el telescopio refractor más grande del mundo.

Pancarta para la presentación en  
Madrid del GTC, el 19/04/01  
© Gotzon Cañada





Estas grandes máquinas, con tubos de longitudes de 12, 16 y hasta 18 metros, necesitaban unas sustentaciones sólidas, a las que además se las dotaba de monturas ecuatoriales que, gracias a que uno de sus ejes estaba dispuesto paralelamente al eje de rotación de la Tierra, permitían el seguimiento de los astros durante períodos prolongados. Además, llevaban incorporados los sistemas de fotografía y de relojería precisos para hacer largas exposiciones.

A medida que avanza el siglo XX los telescopios ya no se conciben sin espectroscopios, sin cámaras fotográficas y sin relojes de precisión. También en este campo se aplican los adelantos tecnológicos en el proceso de hacer ciencia, cuyos descubrimientos conducirán, a su vez, al desarrollo de nuevos adelantos tecnológicos, en una simbiosis cíclica que durante toda la historia ha dado unos fructíferos resultados.

En 1917 entra en servicio el reflector de 2,5 metros del Observatorio de Monte Wilson, que mejora sensiblemente las capacidades ópticas de su antecesor en el mismo observatorio, de tan “sólo” 1,5 metros de diámetro, y que detentará la categoría de mayor telescopio del mundo hasta 1948, cuando se pone en funcionamiento el gigantesco telescopio de 5 metros del Observatorio de Monte Palomar, en California.

El telescopio de Monte Palomar no tendría rivales hasta 40 años después, cuando fue posible construir espejos mayores con una óptica excelente y que empezaron a estar indisolublemente dotados de sistemas informáticos que permitían gobernar con extremada precisión todo los complejos equipamientos de aquellas máquinas gigantes.

Los avances técnicos, sobre todo de la electrónica y la informática, permitieron la superación de la mayoría de las dificultades con las que habían luchado históricamente los astrónomos a la hora de enfrentarse a las limitaciones de los telescopios. Casi cualquier máquina, por cara que fuera, se podía construir ahora, todo era cuestión de disponer de los fondos necesarios para llevar adelante los proyectos y de aplicar las últimas tecnologías.

La capacidad de los telescopios para capturar la luz ha progresado de manera espectacular en las últimas décadas. Con la llegada de los detectores electrónicos del tipo CCD (*Charge Couple Device*), o dispositivos de carga acoplada, se consigue atrapar hasta un 70% de la luz, frente a un paupérrimo 2% que se impresionaba en las emulsiones sensibles de placas y películas fotográficas utilizadas en la astronomía hace sólo unos lustros.

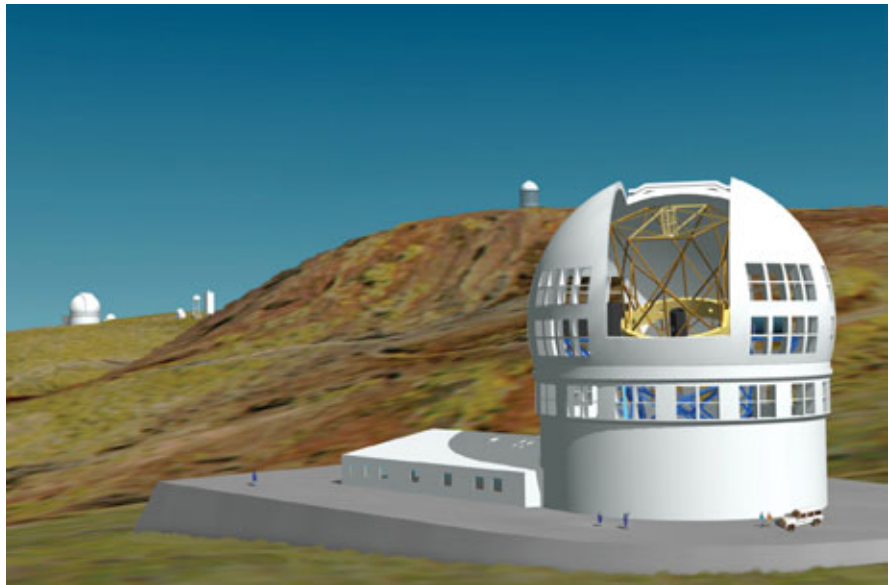
Esta mejora equipara la calidad de las imágenes que se capturan hoy con un telescopio de 80 centímetros a las que podía detectar en la década de los 50 el telescopio de 5 metros de Monte Palomar utilizando placas fotográficas.

Las imágenes digitalizadas tienen además otras ventajas, como conoce ya cualquier aficionado a la fotografía, y entre ellas su facilidad de procesado por ordenador, su cómodo archivado y almacenamiento en el equipo informático, la simplicidad del método con que pueden ser compartidas a través de los correos electrónicos, o la sencillez y fiabilidad respecto a la calidad del original con la que se pueden hacer cuantas copias se requiera.

Las mejoras en las técnicas utilizadas para la observación del cielo no se han resumido al campo de la óptica. Si los avances en esta especialidad han sido espectaculares, no lo han sido menos, por su positiva contribución al conocimiento del universo, los “otros” telescopios, como los que captan, por ejemplo, la emisión infrarroja de los astros.

Complementariamente, a raíz de la primera detección de las ondas de radio provenientes del espacio, se inauguró una nueva modalidad de observación del universo, la que tomaría el nombre de radioastronomía, para cuyo desarrollo, los avances de las tecnologías permitieron la construcción de unos nuevos utensilios bautizados como radiotelescopios, cuya aportación ha sido y sigue siendo esencial.

Composición de un modelo 3D del GTC con detalle del interior. © Gabriel Pérez (SMM/IAC)



Al margen de la captación casual en 1965 de la radiación cósmica de fondo, la modalidad de la radioastronomía permitió el descubrimiento de los cuásares, o casi estrellas, sólo dos años antes. La constatación de que todos ellos se caracterizan por un elevado desplazamiento al rojo de sus líneas de emisión les convierten en los objetos más lejanos del universo, a miles de millones de años luz. La creencia actual es que se trata de los núcleos activos con agujeros negros supermasivos de galaxias muy distantes.

También debemos a los radiotelescopios el descubrimiento de los pulsares, o estrellas de neutrones, cuya rápida rotación es el origen de esas pulsaciones regulares que les confieren su nombre genérico. Su emisión de radio característica es una serie uniforme de pulsos, separados con gran precisión, con períodos entre unos pocos milisegundos y varios segundos. Se conocen más de 300, pero sólo dos, la Pulsar del Cangrejo y la Pulsar de la Vela, emiten pulsos visibles detectables.

El último paso en el camino del conocimiento astronómico lo constituyen el entramado de satélites dotados de instrumentos destinados a la observación de los cielos. Los satélites disponen de una serie de ventajas en su trabajo, y entre ellas que no están afectados por el filtro que representa la atmósfera, por lo que pueden captar con una gran nitidez señales en todos los rangos del espectro invisibles desde la Tierra.

Así, hay satélites de infrarrojo, como el IRAS (1983) y el ISO (1995); de rayos X, como el Exosat (1983) y el Newton (1999); de rayos gamma, como el Compton (1991), o de rayos ultravioleta, como el IUE (1978). Un caso especial lo constituye el Hubble, construido y lanzado en 1990 como fruto de la colaboración entre las agencias espaciales norteamericana (NASA) y europea (ESA). El Hubble transporta un telescopio óptico dotado con un espejo de 2,4 metros de diámetro, todavía hoy en funcionamiento, cuya capacidad es sólo comparable con la de los telescopios de 10 metros de diámetro instalados en los observatorios más modernos. Orbita la Tierra a una distancia de 600 kilómetros y a lo largo de su vida útil ha desempeñado una tarea esencial.

Regresando a nuestro planeta, en el tramo final del siglo XX la atención se volvió hacia los emplazamientos, con la mirada puesta en lograr el mayor rendimiento posible de las observaciones astronómicas. Se impuso un nuevo concepto consistente en agrupar varios telescopios y sus correspondientes infraestructuras en los mismos sitios, lo que permitía abaratar costes y compartir conocimientos.

Los lugares elegidos habrían de cumplir unos requisitos lógicos que facilitarían las labores de observación y, como consecuencia, los observatorios se empezaron a localizar en montañas elevadas, lejos de las ciudades populosas, para evitar la contaminación lumínica, y distanciados de cualquier instalación fabril, para eludir la contaminación industrial. Además, los lugares debían disfrutar de atmósferas estables y demostrar series históricas de baja estadística de nubosidad.

De esta manera, surgieron los parques de telescopios internacionales, cuyos exponentes más significados son el Observatorio Europeo Austral (Chile), el Observatorio Europeo del Norte (Islas Canarias) y el Observatorio de Mauna Kea (Hawai).

En el Observatorio de Mauna Kea, ubicado a 4.200 metros de altitud, en la cumbre de un volcán extinguido, se encuentra la mayor agrupación de telescopios gigantes existentes en la actualidad. A Estados Unidos le pertenecen dos de los telescopios, de 10 metros de diámetro, a Japón uno de 8,4 metros y a un consorcio de países americanos más Gran Bretaña y Australia, uno de 8 metros. Estos grandes telescopios están flanqueados por otros más pequeños, de 3 y 4 metros.

El Observatorio Europeo Austral, ESO en sus siglas inglesas (*European Southern Observatory*), está localizado en Chile. Dispone de más de una docena de telescopios pertenecientes a otros tantos países europeos, con diámetros desde los 50 centímetros hasta los 3,5 y 3,6 metros. Allí se construyó hace tan sólo unos años el telescopio más grande y potente del mundo hasta ese momento, el VLT (*Very Large Telescope*), que consta de cuatro instrumentos, cada uno con un espejo de 8,2 metros de diámetro, capaces de funcionar simultáneamente. Su potencia es tal que una de las apuestas de sus responsables durante su construcción fue que sería capaz de ver a un hombre tendido en la Luna.

Además, en los Andes chilenos se encuentran otros importantes observatorios astronómicos con telescopios de 4, 6 y 8 metros de diámetro, pertenecientes a diferentes países, sobre todo a Estados Unidos. Los telescopios emplazados en tierras chilenas tienen una gran importancia porque sólo existe otro observatorio en Australia, con un telescopio de 4 metros, para vigilar el rico cielo austral. En Sudáfrica pronto estará a pleno rendimiento un telescopio de más de 9 metros.

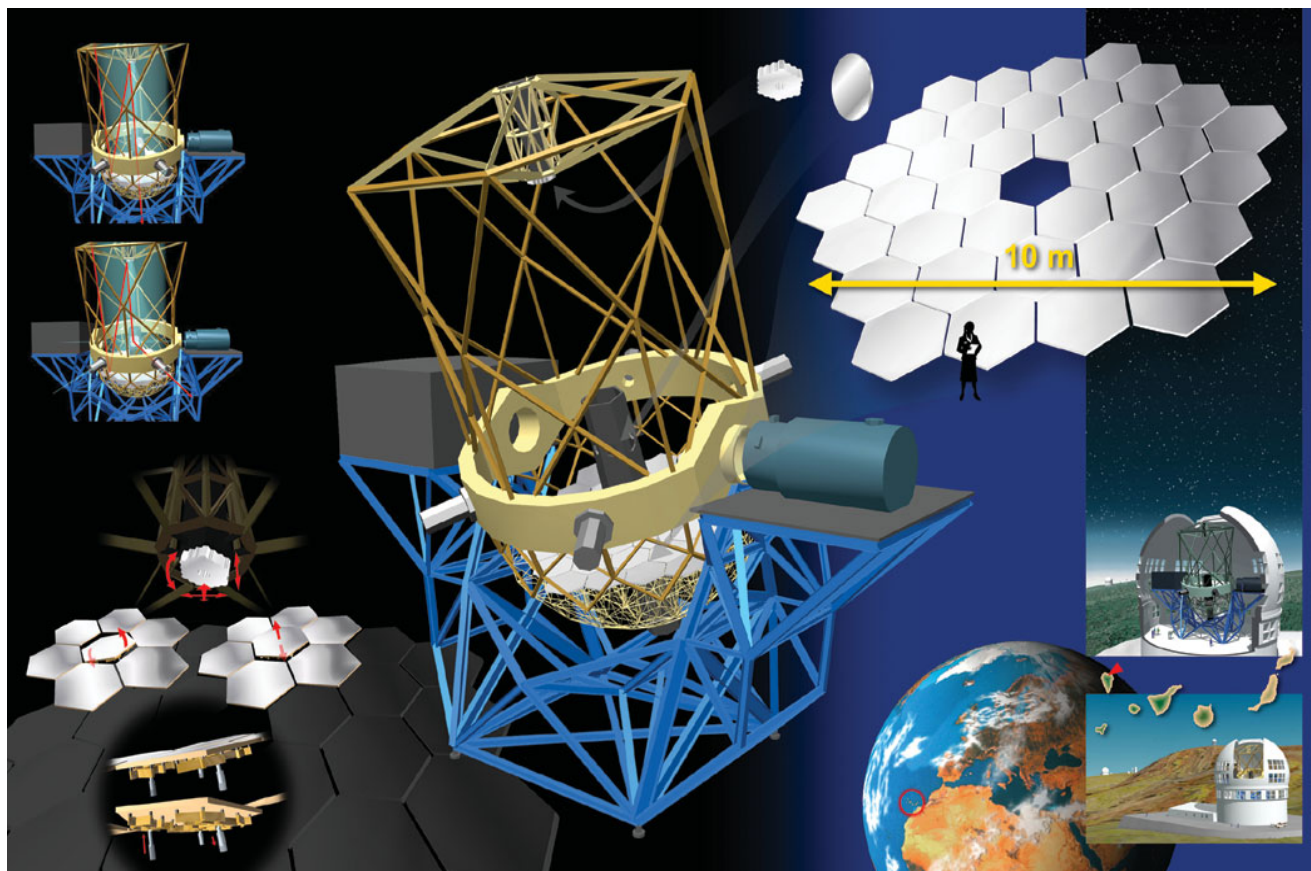
El Observatorio Europeo del Norte o ENO en sus siglas inglesas (*European Northern Observatory*) está ubicado en las Islas Canarias y compuesto por los observatorios del Teide, en la isla de Tenerife, y del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma, ambos dependientes del Instituto de

Astrofísica de Canarias. En el observatorio están instalados en la actualidad una batería de telescopios y otros instrumentos astronómicos de más de 60 instituciones de 19 países, entre ellos 12 europeos.

Aquí es donde está instalado el GTC, el Gran Telescopio CANARIAS, el mayor telescopio óptico-infrarrojo del mundo. Se trata de un telescopio de espejo primario segmentado de 10,4 metros de diámetro y de altas prestaciones que representa una apuesta sin precedentes de la sociedad española por la astronomía.

En el telescopio participan, además de España, que lidera el proyecto a través del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Estados Unidos por medio de la Universidad de Florida, y México, país representado por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y por el Instituto de Astronomía de la Universidad Autónoma de México (IA-UNAM), y que cuenta con la financiación del mexicano Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Folleto desplegado del GTC.  
© Gabriel Pérez (SMM / IAC)





## II. Gran Telescopio CANARIAS

Gran Telescopio CANARIAS (GTC) es el primer proyecto de “gran ciencia” liderado por España, instalado en su territorio y uno de los grandes compromisos del Gobierno español con el mundo científico. Es el mayor telescopio óptico-infrarrojo del mundo, la estrella del Observatorio Europeo del Norte.

El Proyecto GTC es una iniciativa española, liderada por el Instituto de Astrofísica de Canarias, en el que colaboran instituciones de España, México y Estados Unidos. Comparten la financiación española el Ministerio de Ciencia y Tecnología y la Comunidad Autónoma de Canarias a través de su Consejería de Educación, Cultura y Deportes. La participación mexicana está repartida entre el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Estados Unidos interviene en el proyecto a través de la Universidad de Florida.

En la década de los 90 surge la idea de construir un gran telescopio de más de 8 metros de diámetro. En 1994 se crea, con fondos públicos, una sociedad anónima, GRANTECAN, S.A., con el objetivo de facilitar al Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) la definición del telescopio, su estudio de viabilidad y su construcción. A la primordial finalidad científica del proyecto se une la declarada intencionalidad tecnológica y económica de utilizar la ocasión para estimular la transferencia de tecnología hacia la industria española y, complementariamente, generar tejido empresarial en Canarias interesado en las tecnologías avanzadas.

En febrero de 1996 el Consejo Rector del IAC, con todos los informes favorables y con el acuerdo de participación del Estado español y de la Comunidad Autónoma de Canarias, da "luz verde" a la construcción del Gran Telescopio de espejo segmentado de 10 metros de diámetro.

### III. Características del GTC

El GTC es un telescopio de espejo primario segmentado de 10,4 metros de diámetro y altas prestaciones. Se espera que reciba la "primera luz" en el año 2004 y que, pocos meses después, comience a producir ciencia. Entre sus principales características están la calidad de imagen, la eficiencia operacional y la fiabilidad.

Su ubicación es una superficie de 5.000 m<sup>2</sup> en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla canaria de La Palma, donde geografía y clima se unen para proporcionar unas condiciones excepcionales para la observación astronómica. El sitio se halla por encima del "mar de nubes", a 2.400 metros sobre el nivel del mar, donde, gracias a los vientos alisios, la atmósfera es estable y muy transparente.

#### Calidad de imagen

El espejo primario está compuesto por un mosaico de 36 elementos vitrocerámicos hexagonales, de 1,9 m de diagonal cada uno, que formarán, al acoplarse, una superficie hexagonal de 11,4 m de extremo a extremo (equivalente a la de un espejo circular de 10,4 m de diámetro). Al disponer de esta gran superficie colectora, el GTC podrá "ver" los objetos más distantes y los más débiles de nuestro universo, desde galaxias lejanas recién nacidas, hasta sistemas planetarios en estrellas de nuestros alrededores; este telescopio también buscará la materia oscura para indagar en su misteriosa naturaleza.

Un sistema de óptica activa mantendrá alineados los espejos corrigiendo las deformaciones causadas por los cambios de temperatura, las tensiones mecánicas y las inevitables limitaciones del proceso de fabricación. Además, el GTC será el primer telescopio que incorpore en su diseño un sistema de óptica adaptativa, que compensará las pequeñas turbulencias de la atmósfera para conseguir una mayor resolución en las imágenes obtenidas.

Con estos sistemas se obtendrán imágenes limitadas por difracción, con una relación de Strehl de 0,8 en 2,2 micras cuando la calidad de imagen en el visible sea de 0,5 segundos de arco. En longitudes de onda tan cortas como 1 micra también se tendrán imágenes limitadas por difracción pero con relaciones de Strehl más bajas. Con un sistema de estrella guía láser se tendrá una mayor cobertura en el cielo.



La cúpula del telescopio, que lo protege del viento y de la humedad, ha sido diseñada, como todo el edificio del GTC, para facilitar la ventilación y reducir al mínimo las perturbaciones térmicas producidas en su interior.

La suma de la excelencia del emplazamiento y del efecto combinado de la cúpula y la óptica en general hace que la degradación producida sobre la imagen no sea superior a 0,18 segundos de arco de anchura a media altura.

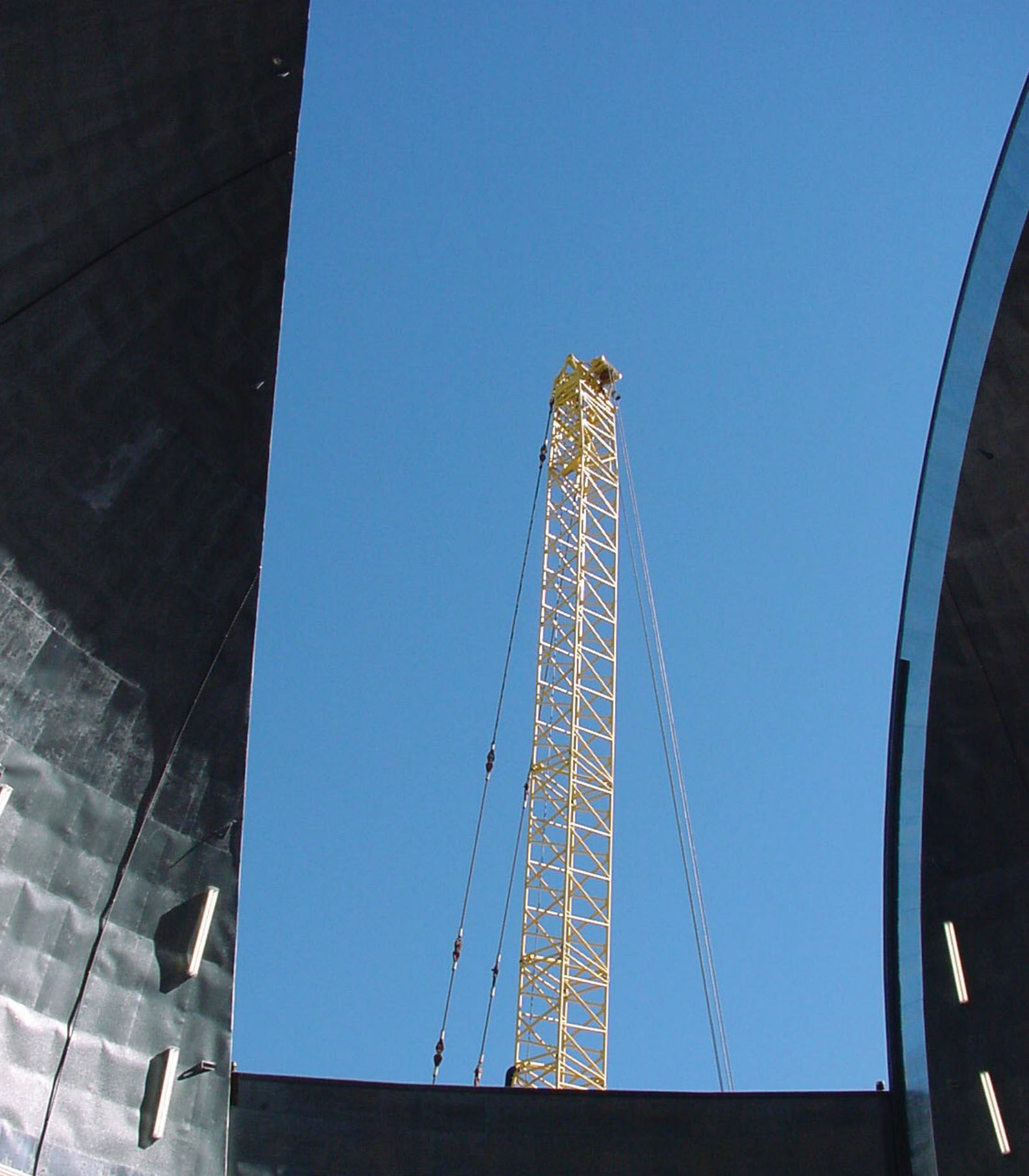
El telescopio producirá imágenes con una relación de Strehl de 0,33 (asumiendo una calidad de imagen en el ORM de 0,5 segundos de arco y operando con el sistema de corrección de movimiento de imagen) a longitudes de onda superiores a 4,8 micras (o 3,5 micras en casos de muy buena calidad de imagen).

### **Eficiencia operacional**

Desde su fase de diseño se ha pretendido que la mayor eficiencia operacional sea una de sus principales características. Una de las peculiaridades que distinguirá al GTC es que un sistema de control automático decidirá, según las condiciones atmosféricas, qué tipo de observación conviene realizar en cada momento y con qué instrumentación. Este modelo, conocido como observación por colas, garantizará el máximo rendimiento durante el período de utilización.

### **Fiabilidad**

El GTC ha sido diseñado para alcanzar la máxima fiabilidad. La capacidad para detectar y corregir de manera inmediata los posibles problemas que se presenten durante el funcionamiento del telescopio es una garantía para cumplir los programas de observación y obtener los mejores resultados científicos. Por ello, ya desde la fase inicial del GTC se ha diseñado un adecuado programa de mantenimiento preventivo que garantiza que el tiempo de parada producido por los fallos en el sistema sea mínimo, siempre inferior al 2%.



## IV. Presupuesto del GTC

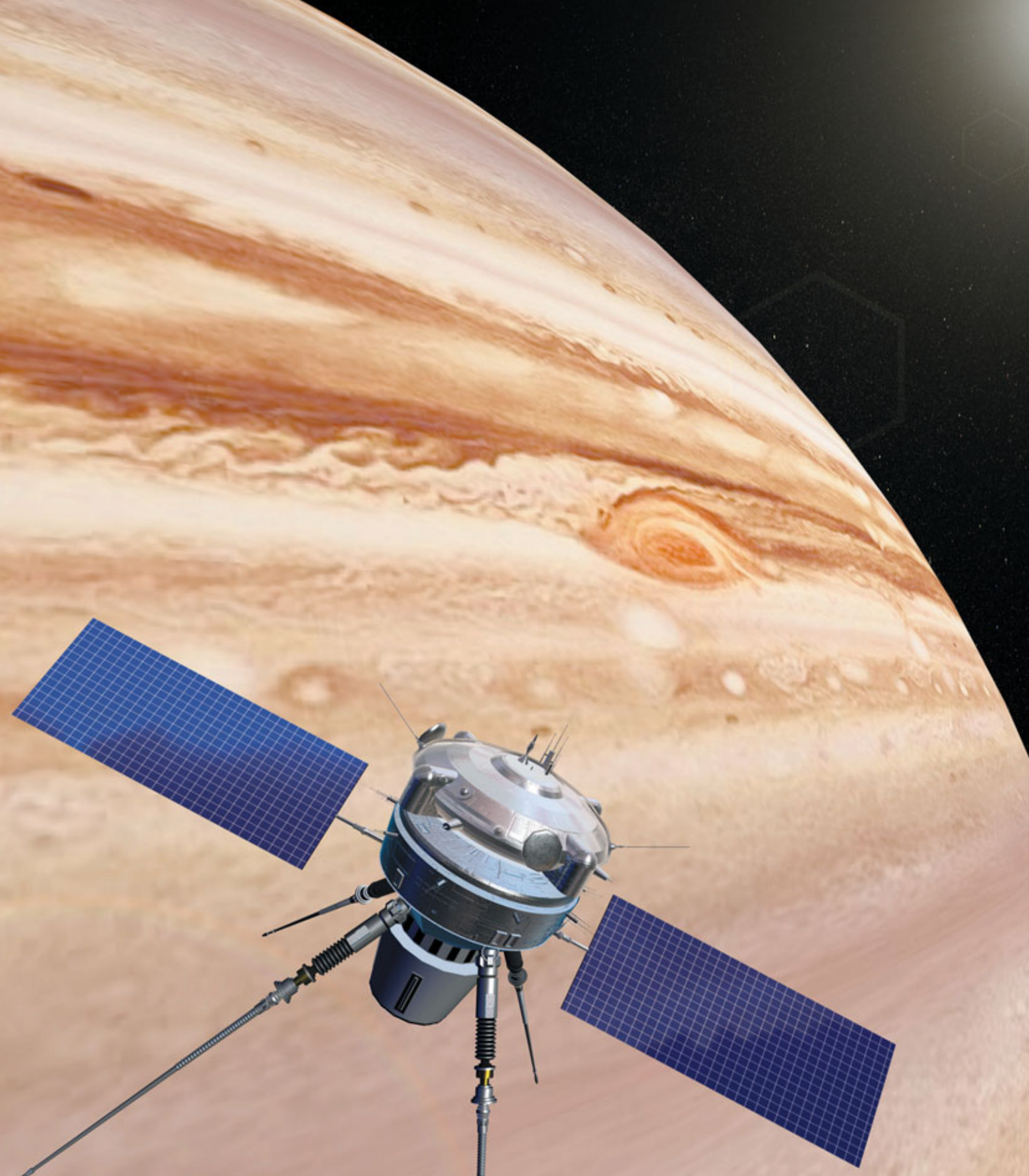
El presupuesto de construcción del Gran Telescopio CANARIAS es de 91 millones de euros, cantidad actualizada a la inflación de 2001.

Los gastos que implican otras actuaciones e inversiones preparatorias previas a la fase de explotación ascienden a 21 millones de euros, por lo que la suma total es de 112 millones de euros, cuantía acorde a la suma de las previsiones realizadas entre 1997 y 2001 más el efecto inflacionario, es decir, el proyecto se contiene en las estimaciones presupuestarias originales.

## V. El GTC, un telescopio hecho a la medida de los científicos

La construcción del Gran Telescopio CANARIAS es la respuesta a las necesidades de la comunidad de investigadores a la que va a servir y sus características, por lo tanto, obedecen a las prioridades científicas propuestas por la comunidad astronómica española, con las únicas limitaciones impuestas por los límites tecnológicos y los medios económicos al alcance del proyecto.

Con estas premisas se ha elaborado una lista de programas en los que trabajará el nuevo telescopio, que no es ni mucho menos exhaustiva, pero sí ha sido suficiente para definir las principales características del nuevo telescopio.



## VI. Programas científicos

### Planetas externos, objetos subestelares y estrellas débiles

Existe mucha expectación ante la perspectiva de encontrar planetas similares a la Tierra, orbitando en torno a otras estrellas, no solo desde el punto de vista científico, sino también desde la gran atracción que estos temas despiertan en el público no especialista.

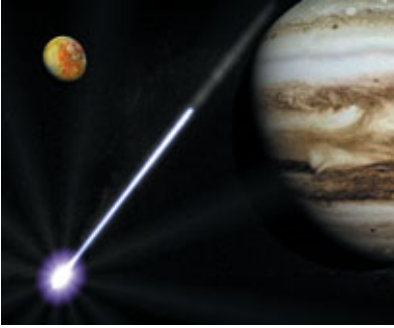
Recientemente se han detectado planetas tipo Júpiter orbitando estrellas de la *Secuencia Principal*, lo que indica que los conocimientos actuales sobre la formación y evolución de planetas han de ser revisados. Se espera que la nueva generación de grandes telescopios descubra no solo planetas tipo Júpiter, sino también planetas tipo Tierra, aunque su caracterización física detallada requerirá grandes telescopios infrarrojos en el espacio.

Otro programa de gran interés es la búsqueda de enanas marrones. Recientemente se han descubierto enanas marrones en nuestro entorno local. El reto está, sin embargo, en detectar este tipo de objetos a la distancia del centro de nuestra galaxia, para así poder hacer estadística sobre la población total de enanas marrones y su importancia relativa en la *densidad bariónica* total del universo.

Igualmente el estudio espectroscópico de estrellas en su fase de enanas blancas frías (5000 K), intrínsecamente muy débiles ( $V=20$  mag), proporcionará información muy valiosa sobre el origen y evolución del halo y disco de nuestra galaxia, y en especial de las edades de éstos. Las enanas blancas, con sus atmósferas extremadamente tenues, son laboratorios ideales para el estudio de procesos físicos en atmósferas estelares.

Desde el punto de vista observacional, la realización de estos programas, y otros semejantes, requiere:

- Una gran superficie colectora de luz para detectar objetos débiles y proporcionar la necesaria resolución espacial.
- Una excelente calidad de imagen que permita el uso de coronógrafos para detectar objetos débiles en torno a otros muy brillantes.
- Capacidad para realizar espectroscopia de baja resolución en estrellas de magnitud hasta  $V=24$ .
- Capacidad para realizar espectroscopía de alta resolución (unos pocos m/s) en objetos de hasta varias unidades astronómicas (UA).
- Capacidad para realizar espectroscopía de mediana y alta resolución en el infrarrojo para estudiar las fotosferas jóvenes y su formación.



© Image Dictionary.

## Objetos protoestelares y formación estelar

La física de la formación de estrellas cada vez es mejor entendida excepto a escalas muy pequeñas, en las que los objetos protoestelares desarrollan chorros altamente colimados, y discos de acrecimiento, entre otros fenómenos. Los mecanismos que producen estos chorros y su colimación no se conocen. Además, las estrellas nuevas se forman muy en el interior de nubes moleculares frías y densas, hasta las que hay decenas de magnitudes de extinción visual, por lo que las fotosferas más jóvenes son prácticamente desconocidas.

Desde el punto de vista observacional, para realizar este tipo de estudios se necesita:

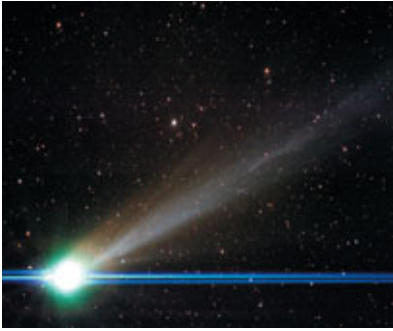
- Gran superficie colectora.
- Excelente calidad de imagen tanto en el óptico como en el infrarrojo.
- Óptica adaptativa en el infrarrojo cercano para hacer imagen de las regiones más internas de los discos y chorros protoestelares.
- Capacidad para realizar espectroscopía óptica e infrarroja para el estudio de la dinámica de los chorros y de las condiciones físicas de la nebulosa oscura originaria.

## Objetos compactos y agujeros negros

La ubicuidad de estos objetos altamente energéticos descubiertos por satélites de rayos gamma y X está bien establecida, y su identificación óptica puede hacerse sin problemas con los telescopios actuales de 4 m. Sin embargo, la determinación de la masa del objeto compacto sólo es posible dinámicamente mediante el estudio de sus curvas de velocidad radial.

Para obtener observacionalmente dichas curvas de velocidad se requiere:

- Una gran superficie colectora de luz para extender el rango de búsqueda hasta los objetos compactos cercanos al centro de nuestra galaxia.
- Capacidad de realizar espectroscopía de media y alta resolución para producir curvas de velocidades radiales, y más importante aún, para determinar el ensanche rotacional de las líneas de los objetos compactos.



© Image Dictionary.

## Galaxias externas

El estudio de las poblaciones estelares de galaxias externas es una tarea difícil, que ha sido posible para unas pocas de las galaxias más cercanas del *Grupo Local*. Por otra parte, si las abundancias químicas de las galaxias de nuestro *Grupo Local* son desconocidas, cuánto más las de las galaxias más lejanas.

Otro tema de la mayor importancia astronómica es la determinación de la escala de distancias, ya que, aunque el satélite Hipparcos ha extendido sustancialmente el rango de distancias hasta el cual se pueden medir paralajes, éste queda todavía en un entorno inmediato dentro de nuestra galaxia.

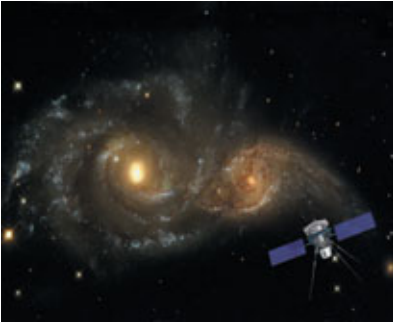
Los siguientes eslabones en la cadena de distancias están basados en la observación de candelas estándar, como las ceféidas o las supernovas tipo I en galaxias externas. En este campo pueden hacerse avances relevantes si parámetros estelares, como la temperatura efectiva, gravedad y composición química pudieran ser determinados para estrellas de galaxias situadas a la distancia del cúmulo de Virgo o más allá. Esto implica una ganancia de 2 o 3 magnitudes en espectroscopía, por lo que el telescopio debería proporcionar:

- Gran superficie colectora.
- Excelente calidad de imagen que permita el uso de rendijas de 0.1" para la observación de estrellas individuales en campos muy poblados.
- Capacidad para realizar espectroscopía de resolución baja e intermedia.
- Excelente apuntado, absoluto y diferencial, y seguimiento para ser capaz de apuntar y mantener la apertura científica del instrumento en los objetos deseados en campos densos.

## Galaxias activas, ultraluminosas y galaxias primigenias

El estudio de las galaxias activas está aún plagado de un buen número de problemas fundamentales. Por ejemplo, la discusión sobre el origen térmico o no-térmico de las enormes cantidades de energía que dichos objetos radian es aún objeto de debate.

Las galaxias ultraluminosas son objetos peculiares que radian la mayor parte de su energía en el infrarrojo, y que además gozan de densidades espaciales comparables o mayores que las de los cuásares.



© Image Dictionary.

Dichas galaxias están sufriendo un intenso brote de formación estelar en el que participa toda la galaxia. Los modelos actuales apuntan hacia una cierta evolución entre las galaxias ultraluminosas y los cuásares.

Además, los modelos unificados de las galaxias activas, cada día más aceptados, explican las diferencias entre los varios tipos de galaxias activas como producidas por efectos puramente geométricos, algo que puede ser demostrado rápidamente mediante *observaciones polarimétricas*. No está claro tampoco si todas las galaxias ultraluminosas albergan un núcleo activo, ni cuál es la extensión del brote de formación estelar en estos objetos extremos.

Finalmente, se están encontrando galaxias con signos de formación estelar en épocas que representan una fracción pequeña de la edad del universo.

Para realizar contribuciones importantes en este campo de investigación es necesario contar con:

- Una gran superficie colectora para observar los objetos más débiles del universo.
- Excelente calidad de imagen para resolver espacialmente la región de formación de las líneas estrechas y las zonas circunnucleares de formación estelar tanto en galaxias activas como en galaxias ultraluminosas.
- Capacidad para realizar imagen óptica e infrarroja, incluso óptica adaptativa que permita obtener imágenes casi limitadas por difracción en  $\lambda > 2.3 \text{ mm}$ .
- Capacidad para realizar espectropolarimetría en el óptico e infrarrojo.

## Cosmología

Uno de los problemas más difíciles de la Astrofísica actual es la determinación de las abundancias químicas justo después de la Gran Explosión inicial. Concretamente, la determinación de la abundancia de helio primordial es de importancia fundamental, dado su papel central en proporcionar pruebas fundamentales de la validez del marco teórico de la nucleosíntesis de la Gran Explosión. La determinación de la abundancia de helio se hace mediante la observación de regiones HII de extremadamente baja metalicidad localizadas en galaxias enanas. Desdichadamente, la razón luminosidad-metalicidad, seguida por estas galaxias indica que cuanto menor la metalicidad, más débiles las galaxias, convirtiendo en muy difícil la obtención de espectros de la calidad necesaria para extraer de ellos las abundancias de helio. Además, la necesidad de obtener espectros de las galaxias enteras para corregir de varios efectos que contaminan la medida de helio, convierte el problema observacional en aún mucho más difícil.



Una forma distinta de tratar el problema consiste en observar el contenido de litio de estrellas de muy baja metalicidad del halo de nuestra galaxia. Hasta hoy, existen datos fiables de las abundancias de litio en estrellas de hasta *magnitud*  $V=12$ , si bien se conocen estrellas pobres en metales mucho más débiles ( $V=14$ ) cuyas abundancias de litio podrían obtenerse con un telescopio de mayor diámetro.

El análisis de los espectros de absorción de los cuásares más lejanos ha proporcionado una poderosa herramienta para el estudio de las propiedades del gas intergaláctico, y en particular de su aglomeración espacial, contenido en metales, estado de ionización, y, muy importante, evolución temporal de estas propiedades. Para estudiar la evolución de estos sistemas, se requieren espectros de absorción de muy alta resolución y alta señal-ruido de cuásares de muy alto *desplazamiento al rojo*. Al mismo tiempo, la identificación y estudio posterior de los sistemas de alto *desplazamiento al rojo*, muy especialmente los de alta metalicidad, responsables de la absorción es de la máxima importancia. Estos sistemas responsables de la absorción han sido identificados recientemente como halos de galaxias espirales, lo que abre el camino al estudio de galaxias normales de alto *desplazamiento al rojo*, de gran importancia para buscar signos de evolución en el universo.

La distribución espacial de los cuásares y de las galaxias de alto *desplazamiento al rojo*, los procesos que llevan a la formación de galaxias y a su agrupación en cúmulos están íntimamente relacionados con la existencia de materia oscura. La determinación de la fracción de materia no-bariónica en el universo es por tanto de alto interés. Las transiciones de carbono neutro en sistemas de absorción de alto  $z$  en el medio intergaláctico fueron propuestas hace tiempo como una forma de determinar la evolución de la temperatura del fondo de microondas con la expansión del universo. Es conocido que esta temperatura debe aumentar con el corrimiento al rojo. Han sido muchos los intentos de confirmar esta predicción con telescopios de 4 m., dando siempre resultados nulos debido a la debilidad de *las líneas de carbono neutro* y la necesidad de observarlas con muy alta resolución para resolver su estructura fina.

Este tipo de estudios requieren:

- Una gran apertura para observar los objetos más débiles y distantes del universo.
- Capacidad para realizar imagen de gran campo para hacer un muestreo de regiones amplias en torno a cuásares de alto  $z$  en búsqueda de los sistemas absorbentes.
- Capacidad para realizar espectroscopía de media y alta resolución.

## VII. El emplazamiento: El Observatorio del Roque de los Muchachos

Está instalado en uno de los mejores lugares del hemisferio norte: las coordenadas del Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM), situado en la isla de La Palma del archipiélago canario, son 28° 45' 34" Norte y 17° 52' 34" Oeste.

Las Islas Canarias disfrutan unas condiciones climáticas especiales. Su excelencia para la observación astronómica proviene de la estabilidad de la altura de la capa de inversión, que se sitúa normalmente a 1.500 metros. El Observatorio del Roque de los Muchachos está situado al borde del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente, a 2.400 metros de altitud, en la isla de La Palma, por encima de la altura típica de la capa de inversión, por lo que disfruta de una atmósfera estable, seca y transparente.

En el observatorio está instalada una de las baterías de telescopios más completa del mundo. Entre ellos destaca el telescopio "William Herschel" (WHT, *William Herschel Telescope*), de 4,2 metros de diámetro; su avanzada instrumentación y el lugar de su emplazamiento hacen de él uno de los telescopios más competitivos del mundo. Con él se han realizado numerosos descubrimientos y se confirmó, por primera vez, la existencia de un agujero negro en nuestra galaxia.

Estado de la construcción del GTC el 18/07/01. Puede apreciarse el anillo exterior de hormigón y el carril sobre el cual se desplazará la cúpula, la estructura metálica soporte del piso de la cámara del telescopio y el pilar de hormigón sobre el que descansará la estructura del telescopio. © GRANTECAN.



El *Isaac Newton Group*, asociación en la que participan organizaciones científicas del Reino Unido, Holanda e Irlanda y que pertenece al PPARC (*Particle Physics and Astronomy Research Council*), es el responsable del telescopio citado, así como del "Jacobus Kapteyn" (JKT, *Jacobus Kapteyn Telescope*), de 1 metro de diámetro, diseñado especialmente para fotometría y astrometría, y del "Isaac Newton" (INT, *Isaac Newton Telescope*), de 2,5 metros de diámetro, con el que se descubrió en 1991 el objeto más brillante hasta el momento del universo, un cuásar situado a 12.000 millones de años luz y con una luminosidad 100.000 billones de veces superior a la del Sol.

El Observatorio del Roque de los Muchachos presenta unas características inmejorables tanto para la observación nocturna como para la Física Solar. En este campo, destacaron los trabajos de la Torre o Refractor solar sueco (SVST, *Swedish Vacuum Solar Telescope*), un instrumento propiedad de la Real Academia de Ciencias de Suecia de 50 centímetros de abertura. Tras obtener una serie de elevada calidad de imágenes del Sol en alta resolución, ha sido sustituido por el Telescopio Solar Sueco (SST, *Swedish Solar Telescope*).

Suecia integra con Noruega, Finlandia y Dinamarca la Fundación NOT, que ha construido el Telescopio Óptico Nórdico (NOT, *Nordic Optical Telescope*), con 2,56 metros de diámetro. Está capacitado para trabajar tanto en el rango óptico -estudio de las variaciones rápidas de las estrellas cataclísmicas y de ciertos tipos de enanas blancas-, como en el infrarrojo, pues dispone de un espectrógrafo infrarrojo con el que se pueden estudiar desde estrellas cercanas hasta galaxias lejanas. Es el instrumento ideal para investigar las regiones de formación estelar y las zonas centrales de nuestra galaxia, ocultas por nubes de polvo interestelar.

Solar también es el nuevo telescopio de los Países Bajos, el Telescopio Abierto Holandés (DOT, *Dutch Open Telescope*). Es un instrumento de diseño innovador, con una gran resolución angular y que puede destinarse también a observaciones nocturnas. Consiste en una torre de estructura abierta de 15 metros de altura sobre la que se sitúa un telescopio de 45 centímetros de abertura. Su estructura abierta (sin una cúpula cerrada que albergue el telescopio) permite que el aire fluya libremente, manteniendo la masa de aire en torno al instrumento térmicamente homogénea, método con el que se garantiza la mejor calidad de imagen posible. Este telescopio pertenece a la Universidad de Utrecht (Países Bajos) y ha sido financiado por la Fundación de Tecnología Holandesa.

Completa esta batería el Telescopio Meridiano "Carlsberg" (CMT), explotado conjuntamente por el Observatorio de la Universidad de Copenhague (Dinamarca) y el Real Instituto y Observatorio de la Armada (San Fernando, Cádiz, España). Se trata de un telescopio de pasos, cuya misión es medir con alta precisión la posición de los objetos celestes; es el más eficiente del mundo, con más de 100.000 pasos de estrellas por el meridiano al año. Ha jugado papeles decisivos en los encuentros de la sonda Voyager con el planeta Urano, de Giotto con el cometa Halley, de Galileo con Júpiter, entre otros, y ha observado posiciones de estrellas para el catálogo de datos del satélite astrométrico Hipparcos.

En 1994 se inició un proyecto piloto de colaboración entre el CMT y el Instituto del Telescopio Espacial, en Baltimore (Estados Unidos), con el propósito de establecer una red densa de estrellas de referencia para la reducción de las placas Schmidt que constituyen la base del Catálogo de Estrellas de Referencia del Telescopio Espacial Hubble (*Hubble Space Telescope Guide Star Catalogue*, GSC) y establecer así la exactitud límite de dichas placas.

El Observatorio del Roque de los Muchachos ha conseguido atraer también los experimentos de Astrofísica de Altas Energías. En relación con este campo de la Astrofísica, se ha instalado en el observatorio una amplia red de detectores de rayos cósmicos, Experimento HEGRA, *High Energy Gamma Ray Astronomy* (1987-2002); en él participan las universidades alemanas de Hamburgo, Kiel y Wuppertal; el Instituto Max-Planck de Física y Astrofísica de Munich; el Instituto Max-Planck de Física Nuclear de Heidelberg; el Instituto de Física de Yerevan (Armenia), y la Universidad Complutense de Madrid. Asociadas a HEGRA se encuentran las instalaciones del experimento CLUE, una colaboración italiana entre las universidades de Padua, Trieste, Pisa y Nápoles, y que cuenta con la ayuda de Brasil y Estados Unidos. El Experimento HEGRA detectó y estudió explosiones de alta energía, como la radiación procedente de las galaxias con núcleo activo Markarian 501 y 421.

Italia también ha instalado en este observatorio su gran Telescopio Nacional Galileo (TNG), de 3,58 metros de diámetro. Inaugurado en junio de 1996, es un telescopio de los llamados de "nueva tecnología", que permite obtener imágenes de una calidad superior a la de los telescopios convencionales. Destinado a la observación del cielo nocturno, está dotado de las mejores soluciones ópticas, informáticas y de ingeniería. Tiene montura azimutal y configuración óptica de tipo Ritchey-Chrétien con dos focos laterales tipo Nasmyth.

Su óptica tiene unos sistemas de control activo que optimizan la calidad óptica y que hacen del Telescopio Nacional Galileo un instrumento observacional de vanguardia. Este telescopio pertenece al Consejo de Investigaciones Astronómicas italiano (CRA) y fue construido bajo la responsabilidad del Observatorio de Padua (Italia).

Igualmente merecen mención el telescopio MERCATOR, de 130 centímetros, que vio su primera luz a principios de 2001, y el telescopio MAGIC (*Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov Telescope*), que se instaló en 2003 dentro del área del Experimento HEGRA para la observación de rayos gamma de alta energía y rayos cósmicos.

El último “inquilino” del Observatorio del Roque de los Muchachos es el Telescopio Liverpool. Con 2 m de diámetro, es el telescopio robótico más grande del mundo, es decir, entre los que no precisan manejo humano directo.

Pertenece a la Universidad John Moores de Liverpool (Reino Unido). Puede ser dirigido de forma remota o ser programado para trabajar autónomamente, de ahí el calificativo de “robótico”. Además, la cúpula tiene un diseño innovador que permite abatirla por completo: al quedar totalmente abierto el telescopio, éste se mantiene a la temperatura exterior, evitando así los problemas de turbulencias. Otra de sus características fundamentales es la calidad de imagen que se obtendrá con él. El primer instrumento que se ha montado es una cámara CCD que proporcionará una resolución de 0,135” por píxel.

El 70% del tiempo de la utilización del telescopio pertenece al Reino Unido, y se repartirá entre la propia Universidad de Liverpool y el Consejo de Investigación en Física de Partículas y Astronomía (PPARC), organismo que gestiona el tiempo destinado a la comunidad británica. Además, un 5% del tiempo total de observación estará reservado a estudiantes y aficionados británicos. El Telescopio Liverpool estará asociado al programa de Divulgación Social de la Ciencia y la Tecnología del Reino Unido. Las imágenes directas que se obtengan con este telescopio ilustrarán las charlas públicas del Museo y del Planetario de Liverpool. Profesores y estudiantes británicos también se beneficiarán del Programa para Escolares del Telescopio Liverpool pudiendo realizar prácticas con él. Una página web educativa facilitará la comunicación entre el telescopio y los colegios y escuelas universitarias que soliciten datos observacionales. Asimismo, se está desarrollando un programa de procesamiento de imágenes que permitirá a los alumnos trabajar con los datos requeridos.

En virtud de los Acuerdos Internacionales de Astrofísica, España dispondrá, como en los demás telescopios instalados en los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias, del 20% de uso del Telescopio Liverpool, más un 5% en programas de colaboración internacional. A partir de 2004, cuando el telescopio esté operativo y se hayan establecido los procedimientos de utilización, se destinarán hasta 10 noches al año para programas españoles de divulgación.

En cuanto a la investigación científica, los principales objetivos son: el seguimiento de objetos o eventos celestes variables a diferentes escalas de tiempo, identificación y seguimiento de fenómenos impredecibles, como las supernovas, observaciones simultáneas con otros instrumentos terrestres o espaciales y, finalmente, mapeos a pequeña escala y seguimiento de los objetos que se descubran a partir de éstos.

Instalación de la cúpula del GTC ya con la compuerta en el Observatorio del Roque de los Muchachos el 23/10/02.



## VIII. El Observatorio Europeo del Norte

En los dos observatorios astronómicos de las Islas Canarias, el del Teide, cuyas coordenadas son 28° 18' 00" Norte y 16° 30' 35" Oeste, y el del Roque de los Muchachos, están instalados en la actualidad telescopios y otros instrumentos astronómicos de más de 60 instituciones de 19 países, entre ellos 12 europeos.

El conjunto de esta batería de telescopios, una de las más completas del mundo, constituye el *European Northern Observatory* (ENO) u Observatorio Europeo del Norte. Los astrónomos e investigadores que trabajan allí cuentan con las facilidades científicas y técnicas puestas a su disposición por el Instituto de Astrofísica de Canarias en sus instalaciones de La Laguna, en la Isla de Tenerife, y en Breña Baja, en la isla de La Palma.

La excelente calidad astronómica del cielo de Canarias está amparada por la Ley de Protección de la Calidad Astronómica de los observatorios del IAC, promulgada en 1988, que estipula la categoría de reserva astronómica mundial para las cumbres de las islas de Tenerife y La Palma.

El Observatorio Europeo del Norte está abierto a la comunidad científica internacional desde 1979 y cuenta con el apoyo explícito de la Unión Europea.

## IX. El Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)

La historia contemporánea de la Astronomía en Canarias se inicia con las expediciones astronómicas del siglo XIX. En 1910 el astrónomo francés Jean Mascart viajó expresamente a Canarias para ver desde allí el paso del cometa Halley. Con motivo de la visita al archipiélago canario de numerosos astrónomos de todo el mundo que acudieron para observar el eclipse de Sol de 1959, se crea oficialmente el Observatorio del Teide, que pasa a depender del rectorado de la Universidad de La Laguna.

En 1964 se instala el primer telescopio profesional en el Observatorio del Teide. Posteriormente, a principios de la década de los 70, se instala un telescopio solar y poco después, en 1972, un telescopio para el infrarrojo de 155 centímetros de diámetro, en aquel momento el mayor telescopio infrarrojo del mundo, propiedad entonces del Imperial College de Londres y cedido posteriormente al IAC.

En 1970 tiene lugar la primera inauguración del Observatorio del Teide. En 1975 nace el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) por acuerdo entre la Universidad de La Laguna, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Mancomunidad Interinsular de Cabildos de la provincia de Santa Cruz de Tenerife. En él se integra el Instituto Universitario de Astrofísica, y el CSIC le da estatus de centro propio.

Tras las correspondientes negociaciones con diversas instituciones científicas europeas interesadas en instalar telescopios en Canarias, se logra que se firmen los Acuerdos de Cooperación en Astrofísica, por los que se regula la explotación del cielo de Canarias y se abren los observatorios del IAC a los telescopios más avanzados. Así, el 26 de mayo de 1979 España firma con Dinamarca, Suecia y Reino Unido, en Santa Cruz de La Palma, el "Acuerdo y Protocolo de Cooperación en Astrofísica", a través del cual se internacionalizan los observatorios del Teide (Tenerife) y del Roque de los Muchachos (La Palma).

En 1985 tiene lugar la inauguración oficial del Instituto de Astrofísica y los observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos por monarcas y miembros de familias reales de cinco países (España, Dinamarca, Reino Unido, Países Bajos y Suecia) y otros dos jefes de Estado (Alemania e Irlanda). También asistieron doce ministros de países europeos y una distinguida representación de la comunidad científica internacional, encabezada por cinco Premios Nobel.



Es en el mes de abril de 2001 cuando se presenta oficialmente en Madrid el Gran Telescopio CANARIAS con la finalidad de que el proyecto sea conocido por el gran público. Previamente había sido presentado en Vitoria. En este año, un equipo internacional formado por astrónomos españoles, estadounidenses y británicos, utilizando el telescopio MMT (*Multiple Mirror Telescope*), de 6,5 m, del Observatorio Mount Hopkins, en Arizona (EEUU), el telescopio IAC-80, del Observatorio del Teide (Tenerife), y el telescopio "William Herschel" (WHT), de 4,2 m, del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), descubre un agujero negro, el primero encontrado hasta la fecha en el halo galáctico, a miles de años luz por encima del plano de la Vía Láctea.

A principios de 2002 se terminan de colocar las placas de cerramiento de la cúpula del Gran Telescopio CANARIAS. Para lograrlo fue necesario transportar por carretera piezas de hasta 4.500 kilos cada una.

Termina el año con el descubrimiento del planeta más parecido a la Tierra de los conocidos hasta ahora. Trabajando con uno de los espectrógrafos más precisos del mundo, el SARG, investigadores detectan desde el Telescopio Nacional Galileo el primer "candidato" a planeta extrasolar. El objeto, a unos 580 años luz de distancia, gira en torno a una estrella igual que nosotros lo hacemos alrededor del Sol. Probablemente sea similar a los planetas exteriores del Sistema Solar, con un núcleo sólido envuelto por una profunda atmósfera gaseosa. Este planeta tiene una masa similar a la de Saturno, aunque orbita a una distancia intermedia entre la que separa Mercurio y Venus del Sol.

En 2003 comienzan los trabajos de montaje de la estructura del Gran Telescopio CANARIAS y se presenta en La Palma el Telescopio Liverpool. Además, se prueba con éxito el espectrógrafo LIRIS (*Long-Slit Intermediate Resolution Infrared Spectrograph*), instrumento construido en el IAC e instalado en el telescopio "William Herschel", que permitirá obtener imágenes en el infrarrojo y espectros de más de un objeto simultáneamente en este rango. Es el único de estas características situado en el hemisferio norte.

# GLOSARIO

**Año luz:** Es una medida de distancia que equivale a 9,5 billones de kilómetros. Un año luz representa la distancia que recorre la luz en el vacío durante un año terrestre. Se usa la luz porque su velocidad es constante en el vacío.

**Ápex solar:** Punto del espacio hacia el que parece dirigirse el Sol y que se encuentra en la dirección a la constelación de Hércules.

**Asteroide:** Un asteroide o planeta menor es un cuerpo celeste de menor tamaño que los planetas que orbitan en torno del Sol. La mayoría están ubicados entre las órbitas de Marte y Júpiter, pero los hay con órbitas interiores a la de la Tierra. Hoy se conocen más de 3.000.

**Astrofísica:** Parte de la Astronomía que estudia las propiedades físicas de los cuerpos celestes, tales como luminosidad, tamaño, masa, temperatura y composición, así como su origen y evolución.

**Astrolabio:** Antiguo instrumento en el que estaba representada la esfera celeste y se usaba para observar y determinar la posición y el movimiento de los astros.

**Astrología:** Estudio de la posición y del movimiento de los astros, a través de cuya interpretación y observación se pretende conocer y predecir el destino de los hombres y pronosticar los sucesos terrestres.

**Astronáutica:** Ciencia o técnica de navegar más allá de la atmósfera terrestre.

**Astronomía:** Ciencia que trata de cuanto se refiere a los astros, y principalmente a las leyes de sus movimientos.

**Capa de inversión:** Donde se encuentran masas de aire de diferente temperatura, la capa límite entre ellas se rompe en forma de arrugas giratorias que actúa como lentes débiles. El intercambio calórico produce unas condiciones de visibilidad atmosférica pésimas para el astrónomo. En los lugares costeros la temperatura de la primera capa de aire -la que ocupa el espacio comprendido desde la superficie del mar o de la costa hasta unos 300 metros de altitud-, decrece con la altura. Fenómeno que obedece a la disminución de la presión del aire con la altura. Sobre esta capa superficial, existe una segunda capa de unos 700 metros de espesor en la cual la temperatura se incrementa unos 8°C entre su base y su tope. Debido al aumento de temperatura, esta capa se denomina inversión térmica. Por encima de los 1.000 metros, la temperatura del aire vuelve a disminuir con la altura.

**Cometa Halley:** Cada 76 años el cometa Halley regresa al centro del sistema solar. En su última visita, en 1986, la sonda espacial Giotto penetró 600 kilómetros en el núcleo del cometa.

**Cometa:** Cuerpo menor del sistema solar. Los cometas son extremadamente numerosos, con núcleos de entre 1 y 20 kilómetros. Están compuestos de materiales congelados y rocas. Cuando se acercan al Sol, los materiales congelados se subliman, es decir, pasan de sólido a gas sin pasar por el estado líquido. La característica más llamativa de los cometas es su cola, formada por el material que va perdiendo y que es empujado "hacia atrás" por el viento solar, es decir, las partículas que emite el Sol.

**Constelación:** Agrupación de estrellas cuya distribución adopta formas de animales o seres mitológicos, lo que sirvió a nuestros antepasados para delimitar zonas bien definidas de la esfera celeste. La Unión Astronómica Internacional reconoce 88 de ellas en la actualidad. Las estrellas que pertenecen a una constelación no están necesariamente "cerca" las unas de las otras.

**Cuasar (quásar):** Recibe el nombre de la expresión *quasi stellar*, que se refiere a su parecido con una estrella.

**Densidad bariónica:** La materia a la que estamos acostumbrados, es decir aquella compuesta por átomos típicos, con electrones, protones y neutrones, es materia bariónica. La materia no bariónica es el resto, es decir, partículas elementales diferentes. Los modelos cosmológicos actuales y los resultados de los experimentos predicen las cantidades de ambos tipos de materia que debe haber en el universo, en definitiva, la densidad bariónica y no bariónica.

**Desplazamiento al rojo:** Como la luz es una onda, tiene todas sus propiedades y una de ellas es el llamado efecto Doppler por el que se modifica la frecuencia de la onda recibida cuando existe una velocidad entre el emisor y el receptor. En el caso de la luz, el color rojo es el extremo de menor frecuencia del rango visible mientras que el azul es el de mayor frecuencia. Así, cuando el emisor se aleja del receptor se produce una disminución de la frecuencia recibida y se dice que hay un desplazamiento al rojo. Por el contrario, cuando el emisor se acerca al receptor se produce un aumento de la frecuencia recibida y se dice que hay un desplazamiento al azul. Esta manera de hablar es debida a que las líneas espectrales de emisión y absorción, que son las "huellas dactilares" de los átomos y permiten a los astrónomos identificar su presencia en las estrellas, aparecen desplazadas de la posición de reposo con la que se observan en los laboratorios en Tierra. De este modo, midiendo el desplazamiento, se puede determinar la velocidad de la fuente emisora.

**Eclipse:** Ocultación total o parcial de un cuerpo celeste a la vista de un observador desde la Tierra a causa de que otro pasa por delante. Los eclipses de Sol son de este tipo, ya que la Luna pasa entre la Tierra y el Sol e impide que la luz del Sol llegue a una cierta zona de la Tierra; también son de este tipo los eclipses que ocurren en algunos sistemas de estrellas binarias. Los eclipses de Luna son diferentes, ya que se producen cuando la Luna pasa por la zona de sombra que produce la Tierra. En un año pueden ocurrir entre 3 y siete eclipses de Sol y de Luna, siendo lo más común que se produzcan 2 solares y 2 lunares.

**Eclíptica:** Es el camino anual del Sol en la esfera celeste visto desde la Tierra. Es nuestra manera de percibir el plano orbital de la Tierra en torno del Sol. Las constelaciones adyacentes a la eclíptica componen las constelaciones zodiacales. Es posible ver parte de la eclíptica desde sitios oscuros (con cielos despejados) poco después del atardecer hacia la dirección de puesta o salida del Sol respectivamente. Se observa como una especie de franja iluminada. Lo que en verdad vemos es el reflejo de la luz solar en pequeñas partículas que se encuentran en el espacio interplanetario. Su nombre proviene del hecho de que la luna debe estar en esta zona para que se produzcan eclipses, ya sea solares o lunares.

**Equinoccio:** Época en que, por hallarse el Sol sobre el Ecuador, los días son iguales a las noches en toda la Tierra, lo cual sucede anualmente del 20 al 21 de marzo y del 22 al 23 de septiembre. El equinoccio de primavera, que en el hemisferio occidental coincide con el comienzo de la estación del mismo nombre, ocurre alrededor del 21 de marzo, cuando el Sol se mueve hacia el norte sobre la línea del Ecuador. El equinoccio de otoño ocurre alrededor del 23 de septiembre, cuando el Sol cruza el plano del Ecuador en su movimiento hacia el sur. Debido a los ajustes de fechas por las duraciones distintas de los años (a lo cual se debe la inserción de años bisiestos), la hora exacta del equinoccio varía cada año.

**Esfera celeste:** Término usado para asimilar nuestra incapacidad de percibir las distancias a las estrellas. Podemos suponer que todas las estrellas se encuentran sobre la superficie de una gran esfera de radio. El concepto fue introducido por los griegos y ha sido usado hasta hoy. De hecho, para orientar un telescopio el astrónomo usa coordenadas parecidas a las que usamos en la superficie de la Tierra (latitud y longitud); esto supone que para encontrar un objeto con el telescopio no es necesario saber a qué distancia se encuentra. También en la esfera celeste podemos "trazar" "paralelos" o "meridianos" como lo hacemos en la Tierra.

**Estrella:** Cuerpo celeste que es capaz de generar su propia energía por medio de reacciones termonucleares en sus regiones centrales. El Sol, la estrella más cercana a la Tierra, provee a nuestro planeta con la energía necesaria para sustentar la vida. La masa del Sol es unas 333 mil veces mayor que la de la Tierra, y su tamaño, unas 110 veces mayor que el de nuestro planeta. La medida más importante en una estrella es su masa, o cantidad de materia que tiene. Si tomamos como unidad la masa del Sol, las estrellas pueden tener masas que varían entre una centésima hasta 100 veces la masa del Sol. Mientras más masivas sean, vivirán menos tiempo ya que consumen su combustible nuclear en unas cantidades mayores que estrellas menos masivas.

**Estrella fugaz:** Estela de luz que aparece brevemente en el cielo nocturno. El sistema solar, como el universo en general, contiene gran cantidad de polvo formando nubes en su mayor parte. Las partículas que componen este polvo presentan diferentes tamaños (la gran mayoría miden alrededor de una micra, una millonésima de metro). Cuando una de esas partículas entra a gran velocidad (hasta 70 kilómetros por segundo) en la atmósfera de la Tierra, produce un trazo brillante en el cielo que denominamos comúnmente "estrella fugaz".

**Estrellas binarias:** Son estrellas de masa y tamaño similares que giran alrededor de un centro de gravedad común, o centro de masas.

**Galaxia:** Máximo conglomerado de estrellas conocido, puede contener entre unas docenas de millones hasta unos miles de millones de estrellas. Hay de diferentes formas y tamaños. La Galaxia a la que pertenecemos la llamamos Vía Láctea, y la podemos apreciar como una banda luminosa que cruza el cielo. Por supuesto no podemos verla en su totalidad por estar inmersos en ella. Las galaxias más cercanas a la nuestra son visibles desde Chile y se las denomina Nubes de Magallanes.

**Grupo Local:** Nuestra galaxia, la Vía Láctea, y la galaxia de Andrómeda junto con muchas otras más pequeñas como las Nubes de Magallanes, la galaxia del Triángulo, la galaxia de Sagitario y varias más, forman el Grupo Local de galaxias. En definitiva, es un cúmulo de galaxias ligado entre sí gravitatoriamente y aislado del resto.

**Líneas de carbono neutro:** Las líneas espectrales de emisión y absorción son las "huellas dactilares" de los átomos que permiten a los astrónomos identificar su presencia en las estrellas. Cada átomo tiene su propio espectro de líneas que es único. Además, el hecho de que el átomo esté ionizado, es decir altere su carga eléctrica por ganar o ceder electrones, modifica su patrón de líneas espectrales. En este caso, se está hablando de las líneas debidas al carbono sin ionizar, es decir, neutro.

**Luna:** Satélite de la Tierra. La teoría más popular respecto a su origen sostiene que un cuerpo del tamaño de Marte colisionó con la Tierra y, como consecuencia del impacto, se desprendió al espacio gran cantidad de fragmentos de roca que se unieron para formar la Luna.

**Magnitud  $V = 12$ :** La cantidad de energía en forma de luz que nos llega de los objetos astronómicos se mide en magnitudes. Está es una unidad de medida introducida por los antiguos griegos que sirve para comparar fácilmente el brillo aparente de las estrellas. La medida es un número adimensional. Se utiliza una escala logarítmica negativa, de modo que un incremento en magnitud de 5 representa una disminución de brillo en un factor 100. Por ejemplo, la magnitud del Sol es -26, mientras que la de Sirio, la estrella más brillante del cielo nocturno es -1,5. Como la luminosidad de un objeto es diferente en cada color, también su magnitud. Por eso debe darse el filtro en el que se mide la magnitud. En este caso ( $V=12$ ) significa que la magnitud en el filtro visible es igual a 12. Otros filtros son el azul (B), verde (G), rojo (R), ultravioleta (U), infrarrojo (I).

**Meteorito:** Los meteoritos o aerolitos son las masas minerales que llegan hasta la Tierra procedente del espacio. Hay tres clases de meteoritos: los pétreos, los ferrosos y los pétreo-ferrosos.

**Meteoro:** Cualquiera de los fenómenos atmosféricos, ya sean aéreos, como el viento; acuosos, como la lluvia y el granizo; luminosos como el arco iris, o eléctricos, como el rayo y la aurora boreal.

**Nebulosa:** Cualquiera de las agrupaciones de materia cósmica, difusas, luminosas, de formas diversas y contorno impreciso.

**Observación polarimétrica:** Existen diferentes tipos de observaciones que pretenden cubrir diferentes necesidades astronómicas. Una de ellas está basada en la interpretación de las propiedades de polarización de la luz. La luz es esencialmente una onda en la que se transporta la variación de un campo eléctrico y otro magnético. El plano en el espacio en el que se produce la transmisión de la onda y la mezcla entre ellos es lo que se conoce como el estado de polarización de la luz. Este tipo de observaciones nos da indicios sobre la presencia de campos magnéticos o polvo en suspensión, que pueden modificar el estado de polarización de la luz que nos llega de una estrella.

**Órbita:** "Camino" que recorre un cuerpo celeste en torno de otro. Se aplica más comúnmente a las trayectorias trazadas por planetas en torno de estrellas; estrellas en torno de estrellas en sistemas donde hay más de una estrella; estrellas en torno del centro de la galaxia; galaxias en torno de otras galaxias, etc. En la mayor parte de los casos, las órbitas son planas, es decir, es como si los cuerpos se movieran sobre la superficie de una mesa plana y lisa.

**Planeta:** Cuerpo celeste que orbita en torno de las estrellas, no suficientemente masivo para tener reacciones term nucleares en su interior y generar energía como ellas. Hoy conocemos 9 planetas en nuestro sistema solar.

**Pulsar:** Recibe su nombre debido a su emisión de radio característica, una serie uniforme de pulsos separados con gran precisión, con períodos entre unos pocos milisegundos y varios segundos. Se conocen más de 300 objetos de estas características, pero sólo dos, la Pulsar del Cangrejo, y la Pulsar de la Vela, emiten pulsos visibles detectables. Las señales tan rápidas y precisas que emiten tienen su origen en que la estrella tiene un movimiento de rotación muy rápido y emite un haz de radiación que barre alrededor del cielo como un faro, apuntando hacia el observador una vez por cada rotación. El único tipo de estrella que puede rotar suficientemente rápido sin estallar debido a su propia fuerza centrífuga, es una estrella de neutrones.

**Relación de Strehl de 0,8 a 2,2 micras:** La relación de Strehl es una medida de la bondad de un telescopio. Cuanto mayor sea el número, mejor es la calidad del instrumento. Un valor de 1 significa un telescopio perfecto. Normalmente varía con la longitud de onda de la luz observada. En este caso se da para 2,2 micras que corresponde al infrarrojo.

**Satélite:** Cuerpo celeste cuya órbita principal gira alrededor de planetas. Son siempre más pequeños que el planeta que orbitan, pero pueden ser tanto o más grandes que otros planetas, por ejemplo, algunos satélites de Júpiter son más grandes que Mercurio y Plutón. Sólo brillan por la luz refleja del Sol.

**Secuencia Principal:** Las estrellas brillan porque en su interior se producen reacciones de fusión, como las que ocurren en una explosión termonuclear, que generan una gran cantidad de energía. Como la mayor parte de la materia del universo es hidrógeno, éste es el elemento más abundante en las estrellas y el que primero utilizan como combustible.

Mientras dura este combustible la estrella se mantiene en un estado bastante estable. A esta fase, la más larga en la vida de una estrella, se le llama Secuencia Principal. El nombre viene de la forma en la que aparecen agrupadas formando una línea diagonal las estrellas en esta fase cuando se representan en un diagrama de luminosidad frente a color.

**Solsticio:** El 21 de junio se celebra el solsticio de verano, la única fecha del año en que el día cuenta con más horas. La celebración del solsticio de verano, es tan antigua como la misma humanidad. En un principio se creía que el Sol no volvería a su esplendor total, pues después de esta fecha, los días eran cada vez más cortos. Todo empezó hace cerca de cinco mil años, cuando nuestros antepasados, tan amigos de observar las estrellas y establecer su influencia en nuestras vidas, se dieron cuenta que en determinada época del año el Sol se mueve desde una posición perpendicular sobre el Trópico de Capricornio, hasta una posición perpendicular sobre el trópico de Cáncer. A estos días extremos en la posición del Sol se les llamó solsticios de invierno y verano, los cuales ocurren los días 21 de diciembre y 21 de junio, respectivamente. Estas fechas corresponden al hemisferio norte, pues en el sur es al contrario.

**Unidad astronómica:** Equivale a 400.000 veces la distancia media de la Tierra al Sol. El planeta Urano, por ejemplo, está a 20 unidades astronómicas del Sol.

**Vía Láctea:** La galaxia a la que pertenecemos. La luz tardaría unos 25 mil años en llegar desde el centro hasta nosotros, y el Sol, el sistema solar, necesita unos 250 millones de años en completar una órbita en torno del centro de la galaxia. Su edad está calculada en 13.000 millones de años. Contiene 200.000 estrellas.

