

# Grandes telescopios ópticos

**-Del catalejo al Telescopio Espacial James Webb-**

**Julio Solís García**



***Revista Digital de ACTA***

**2022**

**Publicación patrocinada por**



**ACTA representa en CEDRO los intereses de los autores científico-técnicos y académicos. Ser socio de ACTA es gratuito.**

**Solicite su adhesión en [acta@acta.es](mailto:acta@acta.es)**

## **Grandes telescopios ópticos -Del catalejo al Telescopio Espacial James Webb-**

© 2022, **Julio Solís García**

© 2022,  ACTA

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Se autorizan los enlaces a este artículo.

*ACTA no se hace responsable de las opiniones personales reflejadas en este artículo.*

## INTRODUCCIÓN

¿Qué es un telescopio?, es un instrumento óptico que sirve para ver objetos lejanos. Casi todo el mundo tiene una idea intuitiva, que consiste en un tubo que contiene unas lentes o espejos que capturan una luz o imagen lejana, y la amplifican ofreciendo detalles que a simple vista no pueden verse.

Haciendo un breve recorrido desde su descubrimiento a principios del siglo XVII hasta nuestros días, descubriremos que esa sencilla descripción se queda muy corta para los modernos telescopios de alta tecnología actualmente en servicio, y mucho más para los proyectos que hay en marcha para los próximos años, tanto en lo que a observatorios astronómicos terrestres se refiere, como a los situados en el espacio.

Los telescopios que se utilizan para el estudio del Universo en rangos del espectro electromagnético más allá de la zona visible-infrarroja quedan fuera del propósito de este trabajo, que se centrará en el desarrollo y evolución de telescopios ópticos basados en los utilizados por Galileo y Newton, refractores y reflectores.

## HISTORIA DEL TELESCOPIO

*"Todas las verdades son fáciles de entender una vez que son descubiertas, la cuestión es descubrirlas"*  
Galileo Galilei (1564-1642)

La invención del telescopio se atribuye al óptico holandés Hans Lippershey durante la primera década del siglo XVII, quien patentó el 2 de octubre del año 1608 un tubo hueco al que ensambló dos lentes, que denominó 'kijker', y que en español podría traducirse como 'mirador', aunque existen controversias respecto a la autoría del invento y algunas fuentes señalan a otras personas como posibles inventoras del telescopio unos años antes de que lo hiciera Lippershey.

De lo que no cabe duda es que fue Galileo Galilei (**figura 1**) quien inventó el telescopio como instrumento para la observación astronómica. Informado de que Lippershey había fabricado un antejo o catalejo que acercaba la imagen de objetos lejanos, en el mes de mayo de 1609, dedicó todo ese año a construir instrumentos ópticos basados en un tubo hueco, con una lente convergente de unos 3 cm de diámetro en un extremo (objetivo) y otra divergente de menor tamaño en el otro extremo (ocular, el más cercano al ojo), mediante los que se conseguía una imagen aumentada de objetos lejanos (**figura 2**). En el verano de ese año Galileo presentó su telescopio ante el Senado de Venecia, entusiasmando a los presentes y obteniendo el reconocimiento y recompensas económicas por parte de la República de Venecia, que inmediatamente reconoce el importante uso militar del antejo.

Galileo continuó mejorando su telescopio haciéndolo cada vez más potente y de mejor calidad óptica, utilizándolo por primera vez con fines astronómicos durante la madrugada del día 6 de enero de 1610, al observar al planeta Júpiter y descubrir sus cuatro mayores satélites, Io, Europa, Ganímedes y Calisto, conocidos desde ese momento como los satélites galileanos de Júpiter. Con el telescopio de Galileo se inauguró una nueva era de observación astronómica con instrumentos ópticos, que no dejaría de evolucionar hasta nuestros días.



Figura 1: Galileo enseñando al dux de Venecia el uso del telescopio. Fresco de Giuseppe Bertini (1825-1898)

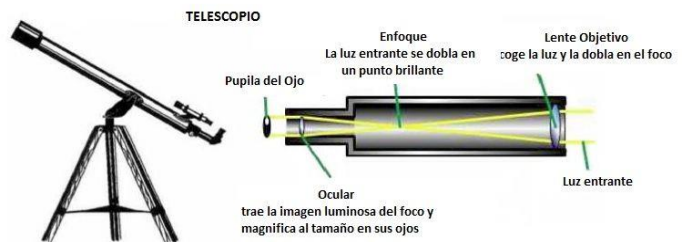


Figura 2: Telescopio refractor

Otros grandes astrónomos continuaron la labor de Galileo, implementando mejoras en el telescopio, como Johannes Kepler, astrónomo alemán que cambió el ocular divergente de Galileo por otro convergente, que ofrecía un mayor campo de visión a cambio de invertir la imagen y de introducir aberraciones cromáticas, por lo que su mejora tenía algunas ventajas pero también varios inconvenientes. Unos años después, en 1655, el astrónomo holandés Christiaan Huygens mejoró los telescopios utilizados hasta el momento, construyendo un aparato de gran calidad con un objetivo de 5 cm de diámetro y 3,5 m de longitud, eliminando la aberración esférica mediante el aumento de la distancia focal del objetivo. Con ese telescopio Huygens consiguió resolver lo que Galileo creía que eran tres cuerpos al observar el planeta Saturno, logrando ver sus famosos anillos y también Titán, el mayor de sus satélites.

El genial matemático, físico y astrónomo inglés Isaac Newton, en su empeño por eliminar la aberración cromática de los telescopios utilizados hasta ese momento, construyó 15 años después del primer telescopio de Christiaan Huygens un novedoso instrumento basado en espejos en lugar de lentes, lo que daría lugar al desarrollo de los denominados telescopios reflectores en contraposición a los refractores que utilizaban lentes. El primer telescopio de Newton tenía un espejo primario de estaño y cobre pulido de algo menos de 3,5 cm de diámetro, que conseguía eliminar la aberración cromática aunque introducía una aberración esférica dado que Newton no pudo dar al espejo primario de su telescopio la necesaria forma parabólica para evitarlo, teniendo que conformarse con una forma cóncava esférica, dado que en ese tiempo no existía la tecnología necesaria para pulir un espejo parabólico. Dado el pequeño tamaño del espejo y su baja reflectividad, las imágenes eran pobres y oscuras, a pesar de lo cuál pudo observar los satélites galileanos de Júpiter y las fases del planeta Venus.

A partir de ese momento, las mejoras tecnológicas, el desarrollo de nuevos materiales, y la implementación de novedosos diseños para eliminar las aberraciones en lentes y espejos, permitieron ir construyendo telescopios que ofrecían cada vez mejores imágenes y de mayor calidad. Casi siempre esas mejoras llegaban de la mano de ópticas de mayor tamaño que obligaba a la cons-

trucción de telescopios refractores y reflectores cada vez más grandes, alcanzando los refractores su máximo tamaño con el que se construyó para el observatorio de Yerkes (USA), con una apertura de algo más de un metro. Este telescopio puso fin al diseño y construcción de telescopios refractores cada vez mayores, coincidiendo en el tiempo con la finalización del siglo XIX.

Con el comienzo del siglo XX, las dificultades técnicas para la construcción de telescopios refractores de mayor tamaño, y en concreto para la construcción de lentes de más de un metro de diámetro eficientes desde el punto de vista óptico, y útiles para su uso astronómico, llevaron a dedicar todos los esfuerzos de investigación y desarrollo a la fabricación de telescopios reflectores, especialmente al diseño de espejos primarios cada vez mayores, que son los que dominan el panorama actual en los grandes complejos astronómicos del mundo en el rango óptico-infrarrojo cercano, incluyendo a los situados en órbita, y también en todos los proyectos en marcha de telescopios espaciales y de telescopios gigantes en tierra.

## TELESCOPIOS DE USO RECREATIVO Y EDUCATIVO - TIPOS

El diseño y construcción de los telescopios ópticos se basa en los fenómenos físicos de refracción y reflexión que se observan en la propagación de las ondas electromagnéticas, de la luz visible en particular, cuando el haz que se propaga en un determinado medio se encuentra con otro medio de características distintas.

La refracción es el cambio de dirección y velocidad que experimenta un haz de luz cuando cambia el medio de propagación, por ejemplo cuando la luz pasa del aire al agua o pasa a través de una lente. El valor de esos cambios depende de las características físicas de los medios por los que se propagan las ondas, como el índice de refracción propio de cada uno, y que en general son conocidos con detalle y estudiados por la Física.

La reflexión de la luz se produce en el seno de un mismo medio por el que se está propagando el haz luminoso, cuando incide sobre la superficie de un medio distinto con diferentes propiedades físicas. En este caso la luz rebota, sin atravesar la superficie del medio en el que incide, con un ángulo idéntico al ángulo con el que incide y en el mismo plano, siguiendo unas leyes bien conocidas y establecidas por la Óptica (rama de la Física que se ocupa de estos fenómenos).

Los telescopios no profesionales han desarrollado unas mejoras tan notables en cuanto a ópticas, monturas motorizadas, y software de localización y seguimiento de objetos, que hoy en día los más avanzados ofrecen unas prestaciones inimaginables hasta hace unas décadas, ofreciendo imágenes similares a las de algunos telescopios profesionales. Igualmente, el desarrollo de la fotografía astronómica posibilita que muchos aficionados en la actualidad puedan generar imágenes de gran calidad, mostrando objetos y detalles inalcanzables hasta la llegada de la fotografía digital.

Actualmente pueden encontrarse en comercios especializados telescopios, tanto refractores como reflectores, en todas sus variantes, con una variedad de precios que los hacen accesibles para casi todo el mundo, en función de sus accesorios, trípodes, motorización, oculares y otros dispositivos, alcanzando un nivel de calidad muy alto los más avanzados que incorporan la más alta tecnología en cuanto a su construcción y diseño, situándolos a un nivel 'cuasi profesional'.

Los telescopios refractores que pueden encontrarse para uso amateur, tienen un precio que oscila entre unos 60 euros para los más sencillos, con mas o menos una lente de 5 cm de diámetro y una distancia focal de 600 milímetros, trípode básico con montura altacimutal, y dos oculares estándar que permiten utilizar el telescopio con mayor o menor aumento y campo de visión, y los

más de 20 000 euros que hay que pagar por telescopios refractores de gran calidad para usuarios avanzados, con objetivos de 18 cm de diámetro y 1620 milímetros de distancia focal, por ejemplo.

Por una cantidad más asequible, de unos 2000 euros aproximadamente, pueden adquirirse buenos telescopios refractores, con montura ecuatorial motorizada, trípode de acero, software para localización de objetos, astrofotografía, y 15 cm de diámetro de su lente principal y 1200 milímetros de distancia focal, con dos oculares de buena calidad y un buscador (pequeño anteojito situado en la parte exterior del tubo para facilitar la localización de objetos).

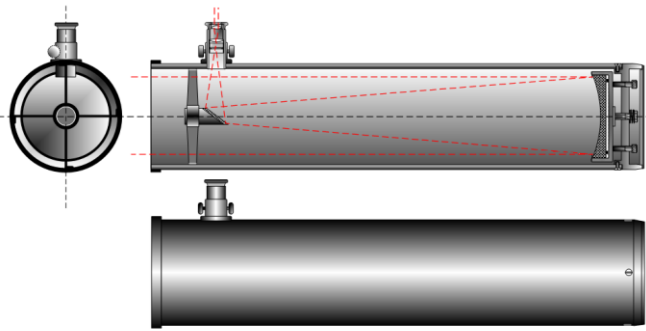


Figura 3: Telescopio reflector Newton

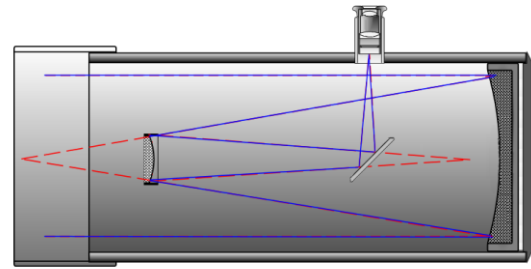


Figura 4: Telescopio reflector Cassegrain-Nasmvth

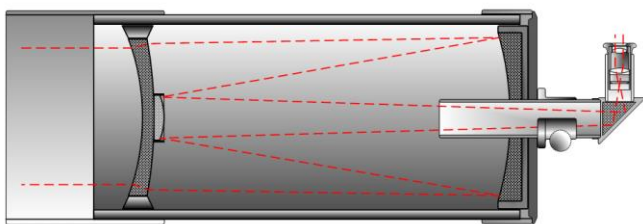


Figura 5: Telescopio reflector Maksutov-Cassegrain

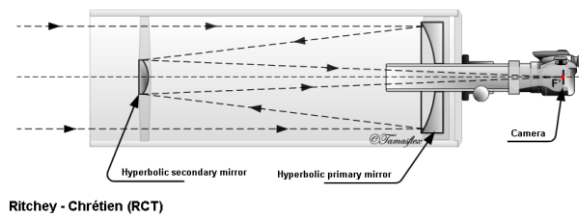


Figura 6: Telescopio reflector Ritchey-Chretien

Respecto a la otra gran familia de telescopios, los reflectores y todas sus variantes: Newton, Cassegrain, Ritchey-Chretien, Maksutov, Schmidt-Cassegrain, Maksutov-Cassegrain, etc... (**Figuras 3 a 6**) la oferta es aún más variada. Pueden adquirirse telescopios reflectores por 40 euros, aunque lo cierto es que para que tengan una cierta utilidad, y no lleven a la desmotivación por ofrecer imágenes de muy poca calidad, la cantidad mínima aproximada que debería gastarse una persona en un reflector básico, pero útil, es de unos 100 euros. Por 130 euros ya puede adquirirse un telescopio reflector Newton con un espejo primario de 7,6 cm y 700 mm de distancia focal, montura altacimutal sobre trípode de aluminio, buscador, dos oculares y lente barlow (duplicadora de aumentos), lo suficiente para iniciarse en la observación astronómica con telescopio. Entre los 1000 y 2000 euros se pueden encontrar telescopios reflectores manejables, motorizados, de excelente calidad, con espejos primarios de 20 cm de apertura aproximadamente, y adaptados para astrofotografía (**Figuras 7 a 11**).

Para quien tenga conocimientos avanzados y el dinero suficiente, existen telescopios reflectores por más de 200 000 euros, de 80 cm de apertura (espejo primario hiperbólico de material vitrocerámico aluminizado) y 6400 mm de distancia focal. Motorizado y con un tubo de celosía (**Figura 12**).



Figura 7: Telescopio refractor de 10 cm



Figura 8: Telescopio reflector Newton de 13 cm



Figura 9: Telescopio reflector Newton de 13 cm



Figura 10: Telescopio reflector Schmidt-Cassegrain de 23.5 cm



Figura 11: Telescopio reflector Schmidt-Cassegrain ACF de 20,3 cm



Figura 12: Telescopio reflector Cassegrain Ritchey-Chretien de 80 cm

## OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS TERRESTRES

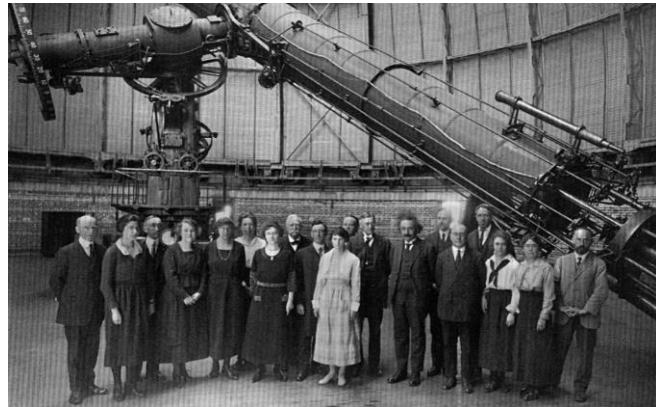
A finales del siglo XIX se inició un periodo de grandes avances en el diseño, desarrollo y construcción de grandes observatorios, con telescopios cada vez de mayor apertura y que fueron incorporando la más alta tecnología en óptica, electrónica y materiales. Este rápido desarrollo en cuanto a la construcción de nuevos telescopios se ha mantenido hasta la actualidad, tanto en lo que se refiere a observatorios en órbita como para los situados en la superficie terrestre, dejando obsoletos a los construidos pocos años antes y superándolos en todos los aspectos.

Hasta la década 1850-1860 se desarrollaron y construyeron mayoritariamente telescopios refractores, ya que solo se alcanzó la tecnología necesaria para fabricar espejos de vidrio que ofrecieran imágenes de cierta calidad, mediante procesos de plateado, a partir del año 1857, en que León Foucault desarrolló esas técnicas de recubrimiento. Esto permitió a los reflectores ofrecer imágenes de suficiente calidad como para equiparlos de alguna manera a los refractores.

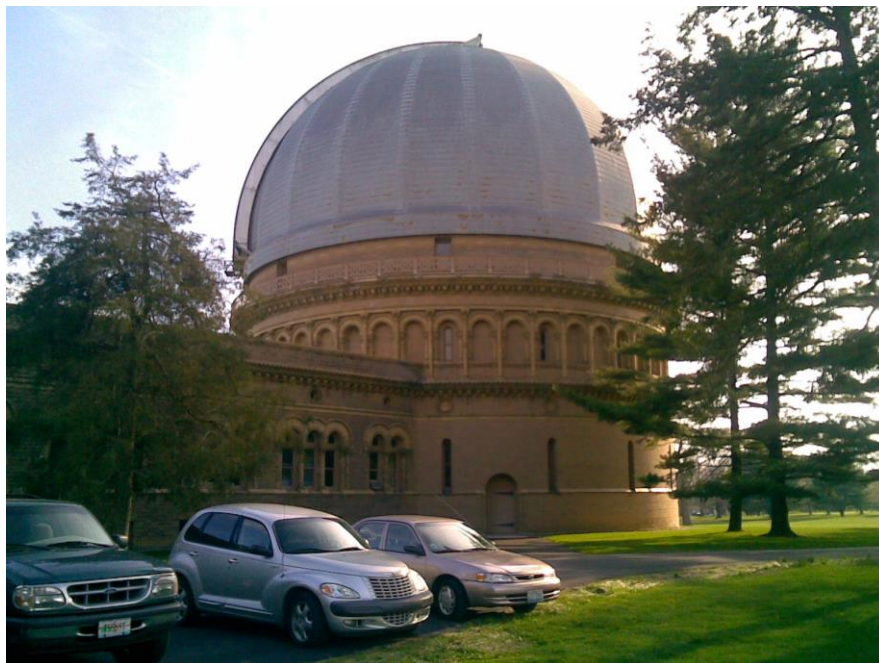
Durante todo el siglo XIX se construyeron muchos observatorios astronómicos que alojaban telescopios refractores con aperturas de entre 20 y 100 centímetros, sobre todo en Europa y Estados Unidos, muchos de los cuales siguen operativos, sobre todo para tareas relacionadas con la docencia, atención al público y actos divulgativos.

El telescopio refractor más grande que se ha construido fue el presentado en la Gran Exposición Universal de París en el año 1900, con una lente principal de 1,25 metros de diámetro y una distancia focal de 57 metros. Su diseño ineficiente para la observación astronómica, con el tubo de 60 metros de longitud que estaba colocado horizontalmente sobre el suelo al que se le hacía llegar la luz de los objetos astronómicos mediante espejos, hizo que unos años después, al no encontrarse quien quisiera hacerse cargo de él, se desguazara para venderlo como chatarra, guardándose las lentes en el Observatorio de París.

Sin embargo, a efectos prácticos, el mayor telescopio refractor construido hasta el momento ha sido el del **Observatorio de Yerkes** (Universidad de Chicago), ubicado en Williams Bay, Wisconsin (USA); magnífico telescopio con cuarenta pulgadas de apertura (102 centímetros de diámetro de su lente) y 19,4 metros de distancia focal (**figuras 13 y 14**). La inmensa cúpula metálica de 30 metros de diámetro y el tubo de más de 20 metros daban al Observatorio un aspecto grandioso ese día 21 de octubre de 1897 en que tuvo lugar la ceremonia de inauguración, a la que centenares de invitados (científicos, políticos, catedráticos, etc...) pudieron asistir, siendo testigos de su 'primera luz' (término utilizado para referirse al primer uso que se da a un telescopio después de su construcción).



*Figura 13: El mayor telescopio refractor del mundo (40 pulgadas), en el Observatorio de Yerkes (USA)*



*Figura 14: Observatorio de Yerkes, Universidad de Chicago (USA)*

Tendría que llegar el siglo XX para que en el año 1917 se construyera un gran telescopio reflector, el denominado **telescopio Hooker** en honor al magnate que sufragó los gastos de su construcción, para el Observatorio del Monte Wilson, cerca de Los Ángeles (California - USA), y que con un espejo primario de 2,54 metros de diámetro (100 pulgadas) mantuvo durante 31 años el título de "mayor telescopio del mundo", desde el año de su construcción en 1917 hasta la entrada en servicio del telescopio Hale de 200 pulgadas en el año 1948, instalado en el cercano Observatorio del Monte Palomar a una altitud de 1720 m.

En la década de 1970-1980 parecía que con el magnífico **telescopio Hale** de 5,1 metros de apertura, se alcanzaba el máximo tamaño posible de un espejo monolítico libre de defectos y aberraciones, y que fuera capaz de mantener sus parámetros óptico-geométricos lo suficientemente estables como para ofrecer imágenes de la calidad suficiente para la investigación astronómica (**figura 15**).

Sin embargo, y tras casi treinta años manteniendo la condición de "mayor telescopio del mundo", el telescopio Hale de 5,1 metros cedió su título a otro gran telescopio que la URSS construyó y puso en servicio entre los años 1975 y 1978, un telescopio reflector Ritchey-Chrétien con un espejo primario de 6,05 metros de diámetro en el Observatorio Astrofísico Especial de la Academia de Ciencias de la Unión Soviética (hoy Academia de Ciencias de Rusia) en el Caúcaso, cerca de Zelenchukskaya al sur de Rusia, instrumento que nunca pudo ofrecer todo su potencial teórico por sus problemas iniciales con el espejo primario, su ubicación poco adecuada y otros problemas surgidos además de los de su óptica. Este telescopio soviético, denominado **BTA-6** y alojado en el interior de una impresionante cúpula de 53 metros de altura y 48 metros de diámetro (**figuras 16 y 17**), mantuvo en cualquier caso la supremacía en cuanto a tamaño hasta la construcción del primero de los dos telescopios gemelos **Keck I** en el año 1992, con espejo primario segmentado de 10 metros de diámetro.



*Figura 15: Telescopio Hale de 5,1 m en el Observatorio del Monte Palomar (Instituto Tecnológico de California - Caltech). San Diego (California-USA)*



*Figura 16: Gran Telescopio Altacimutal BTA-6 de 6,05 m (Zelenchukskaya-RUSIA)*

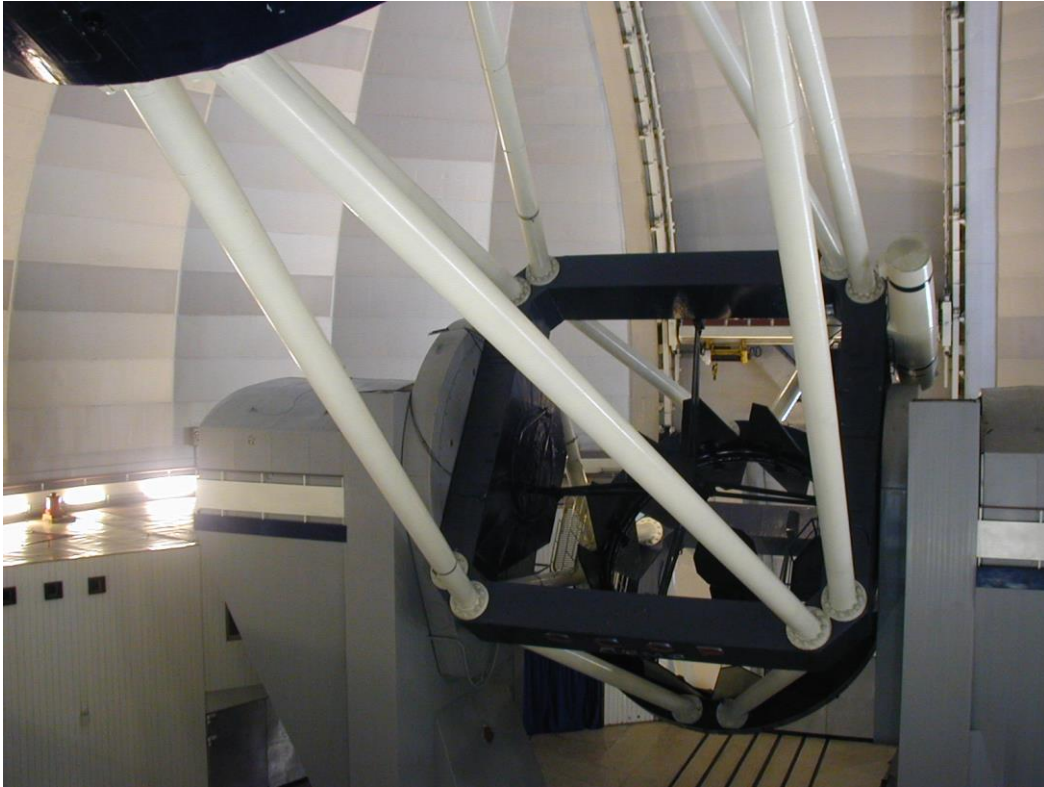


Figura 17: Espejo primario de 6,05 m del BTA-6 (Observatorio Astrofísico Especial de la Academia de Ciencias de Rusia)

Los grandes espejos fabricados de una pieza para telescopios reflectores, no alcanzaron su máximo tamaño con los 6 metros de telescopio **BTA-6**. Se han podido construir espejos monolíticos de hasta 8,4 metros de diámetro, como los dos del telescopio binocular **LBT** (Gran Telescopio Binocular) ubicado en Arizona, los algo menores, de 8,2 metros de diámetro cada uno, de los cuatro telescopios **VLT** (Very Large Telescope Proyecto), los de los telescopios **Gemini Norte** y **Gemini Sur** de 8,1 metros de diámetro, y el del telescopio japonés **Subaru**, que tiene un espejo primario de 8,2 metros de diámetro (**Figuras 18 y 19**). Para mayores tamaños ya se utilizan espejos segmentados, controlados por actuadores electromecánicos que incorporan la más alta tecnología, como las ópticas activa y adaptativa que forman parte del diseño de los más avanzados telescopios astronómicos y de los proyectos en marcha (**Figura 20**).



Figura 18: Telescopio reflector cassegrain **GEMINI NORTE** (Mauna Kea) con espejo primario de 8,1 m de apertura y recubrimiento de plata. Gemelo del **GEMINI SUR** (Cerro Pachón, Chile)



Figura 19: Telescopio japonés **SUBARU**, reflector Ritchey-Chrétien de 8,2 m de apertura en el Observatorio de Mauna Kea (Hawái-USA)



Figura 20: Telescopio **Hobby-Eberly** con espejo primario segmentado (91 segmentos hexagonales) de 11 x 9,8 metros (apertura utilizable de 10 metros) situado en Texas (USA). Hay un telescopio casi idéntico en el Observatorio Astronómico Sudafricano denominado **SALT** (Southern African Large Telescope - Gran Telescopio Sudafricano)

Hay que mencionar que no todos los espejos primarios para telescopios reflectores se basan en una pieza sólida rígida a la que se le da una forma esférica, parabólica o hiperbólica, recubierta de un material altamente reflectante (aluminio, plata, oro, etc...), o en un grupo más o menos numeroso de paneles o segmentos hexagonales que conforman esa superficie cóncava reflectante y recolectora de luz. Existen otros tipos de materiales más baratos y versátiles que se utilizan para fabricar espejos primarios de telescopio, como algunos metales líquidos (mercurio o aleaciones de galio), a los que se les puede dar la forma adecuada fácilmente incluso en superficies de gran tamaño, y sin imperfecciones de pulido o recubrimiento, pero que precisamente por su condición líquida imponen unas limitaciones muy importantes para su utilización general.

Isaac Newton ya estudió que la superficie libre de un líquido sometido a rotación adquiere la forma de un paraboloides de revolución, lo cuál es perfecto para dar forma a un espejo primario de telescopio reflector, pero con algunos importantes inconvenientes, como son la necesidad de mantener una velocidad de rotación constante y precisa, y la imposibilidad de dotar al telescopio de movimiento (en otro caso el espejo perdería la forma debido a la gravedad). Por tanto, el uso de espejos líquidos para la construcción de telescopios ha quedado muy restringida, resultando solamente útiles en telescopios cenitales como el **LZT** (Large Zenith Telescope -Gran Telescopio Cenital-) de la Universidad de Columbia Británica, cerca de Vancouver (Canadá), con un espejo líquido de mercurio de 6 metros de diámetro.

Actualmente los mayores observatorios astronómicos del hemisferio norte se encuentran en Estados Unidos (en las islas Hawái y en otros estados continentales), y los del hemisferio sur en Chile, aunque para casi todos los países que desarrollan proyectos de investigación astronómica el país andino suele ser el lugar favorito donde instalar sus observatorios, debido a los extraordinariamente limpios y nítidos cielos de las altas montañas chilenas (**Figura 21**). Existen también importantes complejos astronómicos en otras zonas del planeta como en las Islas Canarias (islas de Tenerife y La Palma -España-), que alberga multitud de grandes telescopios equipados con el más avanzado instrumental astronómico, o los situados en Sudáfrica y Australia (**Figura 22**).



Figura 21: Observatorio de Cerro Tololo, en la cordillera andina chilena



Figura 22: Observatorio Astronómico Sudafricano, en Sutherland (Sudáfrica)

A modo de resumen, en Chile encontramos algunos de los Observatorios Astronómicos más importantes del mundo, en la zona del desierto de Atacama y cordillera andina, destacando (**Figura 23**):

- **Observatorio de Cerro Paranal** (en el que se encuentran los telescopios del **VLT**, **VST** y **VISTA** operados por el Observatorio Europeo del Sur -ESO-). Se encuentra en el desierto de Atacama a 2635 metros de altitud, en la región de Antofagasta.
- **Observatorio de Cerro Pachón**, a 2700 metros de altitud y 80 km de la ciudad de La Serena (Telescopio **Gemini Sur** de 8,1 metros de apertura, Telescopio **SOAR**, y el proyectado para los próximos años **LSST**), situado muy cerca, a tan solo 10 km del Observatorio de Cerro Tololo.
- **Observatorio de La Silla**, situado junto al desierto de Atacama a 2400 metros de altitud, a 600 km al norte de Santiago de Chile y a 160 km de La Serena, cuenta con 18 telescopios construidos y/o gestionados por ESO, dos de ellos de 3,6 metros de apertura, en uno de los cuales está instalado el famoso instrumento **HARPS** para el estudio de planetas extrasolares.
- **Observatorio Las Campanas**, situado en el cerro Manqui a 2380 metros de altitud y a 27 km al norte del Observatorio de La Silla, en la región de Atacama. Está operado por la Institución Carnegie de Washington (USA) y alberga 4 telescopios, entre los que se encuentran los **Telescopios Magallanes**, gemelos de 6,5 metros de apertura cada uno y bautizados con los nombres de "Walter Baade" "Landon Clay". También está prevista la instalación antes del año 2030 del **GMT** (Telescopio Gigante de Magallanes) que contará con 7 espejos primarios de 8,4 metros de diámetro cada uno.
- **Observatorio Interamericano de Cerro Tololo**, a 2200 metros de altitud y a unos 80 km de La Serena, en la región de Coquimbo. Muy cercano al mencionado anteriormente Cerro Pachón. Tiene 7 telescopios (5 operativos), de los cuales el mayor posee una apertura de 4 metros, además de otros 8 telescopios robotizados que operan remotamente desde Estados Unidos por algunas de las 34 universidades privadas que forman parte del consorcio responsable del Observatorio, junto con otros organismos chilenos y norteamericanos.

Existen otras grandes instalaciones astronómicas en la zona, como el **Parque Astronómico del Llano de Chajnantor** situado a más de 5000 metros de altitud en el desierto de Atacama, a unos 50 km al este de San Pedro de Atacama, pero están dedicadas sobre todo a la radioastronomía (**ALMA**).



Figura 23: Principales Observatorios Astronómicos situados en Chile

El otro gran centro astronómico mundial, seguramente el más importante del hemisferio norte, se encuentra cerca de la cima del volcán inactivo Mauna Kea, en las islas Hawái (USA), a unos 4205 metros de altitud. Los Observatorios de Mauna Kea son un conjunto de Observatorios astronómicos de diversos países, que aglutinan hasta 13 grandes telescopios (ópticos, infrarrojos, milimétricos, submilimétricos y un interferómetro) entre los que destacan los gemelos **Keck I** y **Keck II** con aperturas de 10 m, el **Gémini Norte** con un espejo primario de 8,1 m de diámetro, y el japonés **Subaru** (en español 'Pléyades') con un espejo de 8,2 m de diámetro, dotados todos ellos con multitud de instrumentos y los equipos más avanzados de alta tecnología para la investigación astronómica. La administración de este complejo corresponde al Instituto de Astronomía de la Universidad de Hawái.

## Gran Telescopio de Canarias (GTC)

El **GRANTECAN** (Gran Telescopio de Canarias o **GTC**) es el mayor telescopio óptico-infrarrojo operativo del mundo en estos momentos, con un espejo primario segmentado de 10,4 m de diámetro, alojado en el interior de una cúpula que mantiene la temperatura fría y constante para evitar turbulencias de 24 metros de altura y 35 metros de diámetro exterior (**Figura 24**). Está situado en España, en el Observatorio del Roque de los Muchachos (perteneciente al Instituto de Astrofísica de Canarias), al borde del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente a 2396 m de altitud, en la Isla canaria de La Palma, de actualidad por la erupción volcánica producida el pasado 19 de septiembre de 2021.



*Figura 24: Gran Telescopio de Canarias, **GRANTECAN** o **GTC**. Roque de los Muchachos, a 2396 m de altitud en la Isla de la Palma -Islas Canarias- (España)*

El Observatorio del Roque de los Muchachos se ha convertido en uno de los más importantes centros astronómicos del mundo, seguramente el segundo más importante del hemisferio norte detrás del situado en la cima del volcán hawaiano de Mauna Kea, en la isla de Hawái (USA). Con un cielo particularmente apto para la investigación astronómica, dispone de más de veinte telescopios y de instrumentos astronómicos de la más alta tecnología, estando programada la instalación de la nueva generación de telescopios Cherenkov destinada al estudio del Universo en rayos gamma de muy alta energía.

El **GTC** está gestionado por la empresa pública GRANTECAN, S.A., encargada igualmente de su diseño y construcción, y responsable de la operación científica del telescopio desde el año 2009, año en que inició su funcionamiento prestando servicio a la comunidad astronómica en general. El proyecto **GTC** está apoyado activamente por el Gobierno de España y por el Gobierno Autónomo de las Islas Canarias (a través de los Fondos Europeos para el Desarrollo Regional -FEDER- proporcionados por la Unión Europea), incluyendo la participación del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM) y del también mexicano Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, financiados ambos por el Consejo Nacional de Ciencia y

Tecnología de su país. Estados Unidos participa igualmente, junto a España y México, a través de la Universidad de Florida. Tanto USA como México participan en un 5% cada uno en el proyecto.

El espejo primario (M1) del **GTC** está compuesto por 36 segmentos hexagonales que le confieren unas dimensiones de 11,3 m entre extremos, lo que supone una superficie equivalente a la de un espejo circular de 10,4 m de diámetro y un peso de casi 17 toneladas. Para que ese espejo primario funcione como uno solo, en lugar de como 36 "telescopios" individuales, es necesario alinear todos los segmentos de una manera específica para formar un foco común casi perfecto.

Este diseño se ha generalizado para la nueva generación de espejos primarios de más de 8,4 m para grandes telescopios, sobre todo tras la exitosa implantación de la denominada "óptica activa", que consiste en la colocación, debajo de los segmentos, de unos actuadores (componentes electromecánicos) que los mueven de tal manera que corrigen en tiempo real los efectos distorsionadores producidos en las imágenes por el propio peso del espejo, vibraciones, tensiones, imperfecciones del pulido y cambios de temperatura o viento, que le harían perder los ajustes ópticos necesarios para mantener las imágenes perfectas. Otra tecnología fundamental junto con la "óptica activa" es la "óptica adaptativa", que corrige instantáneamente los efectos causados por la atmósfera (turbulencias, cizalladuras, etc...). Estas tecnologías punteras mejoran la calidad de las imágenes de los telescopios terrestres situándolas casi a la altura de las de los telescopios orbitales, que no se ven afectados ni por la atmósfera terrestre ni por la gravedad.

Cada uno de los 36 segmentos hexagonales del espejo primario del **GTC** tiene un tamaño de 1,9 metros entre vértices, 8 centímetros de grosor, 3 milímetros de espacio entre ellos (para facilitar los movimientos de ajuste), y 470 kg de peso, aunque no son todos idénticos dependiendo de su distancia al centro. Una vez ensamblados como una sola superficie cóncava, ofrecen 75,7 m<sup>2</sup> (73 m<sup>2</sup> de superficie efectiva de captación de luz) concentrando toda la luz en el espejo secundario, que a su vez la desvía hacia el espejo terciario, para finalmente llevar el haz al foco deseado (Nasmyth o Cassegrain). Ese "panal" de espejos hexagonales está coordinado mediante una red de sistemas electromecánicos de soporte de cada segmento y sus accionamientos de precisión, entre los que cabe destacar los sensores capacitivos que perciben el más ínfimo movimiento entre los segmentos. Toda esta red, gobernada por diversos ordenadores, constituyen un sistema de control en tiempo real que ofrece un extraordinario nivel de precisión y un poder de visión insólito, equivalente al de 4 millones de pupilas humanas.

Los espejos se han fabricado en un material vitrocerámico especial (aluminosilicato de litio) denominado "Zerodur", desarrollado por la empresa alemana "Schott AG" y que apenas sufre alteraciones con los cambios de temperatura, evitando así deformaciones en las imágenes. Están recubiertos de aluminio, y sometidos a un proceso de pulido, con un límite de error superficial de 15 nanómetros (unas 3000 veces más fino que un cabello humano), del que se encargó la empresa francesa "Sagem".

El espejo secundario (M2), convexo e hiperbólico, está fabricado en berilio con revestimiento de aluminio. Tiene un área equivalente a un espejo circular de 1,06 metros de diámetro, está dotado de cinco grados de libertad para su total alineación con el espejo principal, y de un sistema configurable para obtener el mejor rendimiento posible cuando se utiliza para observaciones en longitudes de onda visible o infrarrojo medio.

Por último, el espejo terciario (M3) tiene forma elíptica y está montado en una torre de 7 metros de altura y 1,8 metros de diámetro. Puede insertarse en el haz para dirigir la luz a cualquiera de los focos Nasmyth o al foco Cassegrain.

## Interferometría óptica - LBT - VLT - KECK

Además del **GTC** existen en el mundo más de una docena de grandes telescopios con espejos primarios de gran tamaño (entre 8 y 10,4 metros de diámetro), situados mayoritariamente en Chile, en USA (Hawái, Arizona, Texas...) y en Sudáfrica. Sin embargo, el gran salto tecnológico en cuanto a captación de luz, resolución y calidad de imágenes, después del uso de sistemas de óptica activa y adaptativa y de la división en segmentos de los espejos primarios, se produjo a partir del año 1996, con la instalación del telescopio **Keck II** en el Observatorio de Mauna Kea (Islas Hawái) a 4145 metros de altitud en mitad del Océano Pacífico, y que junto a su gemelo **Keck I**, puesto en operación unos años antes, dio lugar al primer par de telescopios gemelos que podían operar de forma conjunta, con la implantación de la interferometría óptica, que permitía el uso combinado de los dos telescopios, alejados entre sí hasta 85 metros, como si de un solo instrumento de mayor tamaño se tratara, consiguiendo una resolución de 2 milésimas de segundo de arco. Los telescopios **Keck** pertenecen al Instituto de Tecnología de California (Caltech) y cada uno de ellos tiene un espejo primario segmentado (compuesto por 36 espejos hexagonales) de 10 metros de diámetro (**Figura 25**).



*Figura 25: Telescopios gemelos **Keck I** y **II**. Observatorio de Mauna Kea (Hawái-USA) a 4145 m de altitud*

Otros ejemplos de telescopios que pueden operar utilizando técnicas interferométricas son el **LBT** (Gran Telescopio Binocular) y el **VLTI** (Telescopio muy grande - VLT Interferometer).

El primero (**LBT**) es un impresionante telescopio dotado con dos espejos primarios parabólicos monolíticos de 8,4 metros de diámetro cada uno, construidos con la más alta tecnología y dotados de sistemas de "óptica activa" y "óptica adaptativa", y capacidades para poder combinar el uso de los dos grandes espejos primarios simultáneamente mediante interferometría óptica, pudiendo separarse ambos espejos hasta 22,8 metros y ofreciendo una resolución máxima de una centésima de segundo de arco y una capacidad de captación de luz equivalente a la de un telescopio de 11,8 metros de apertura. El telescopio es tan potente que es capaz de ver la luz de una vela situada a 2 millones y medio de kilómetros de distancia. Se encuentra en el Observatorio

Internacional del Monte Graham (MGIO) de la Universidad de Arizona, en la Sierra de los Pinaleños al sureste de Arizona (USA), a una altitud de 3191 metros. El **LBT** presta servicio en modo binocular desde el año 2008, y el proyecto está participado por institutos norteamericanos, italianos y alemanes (**Figura 26**).

El segundo (**VLT**) es un conjunto de 8 telescopios, 4 son telescopios reflectores de 8,2 metros de apertura, y los otros 4 son telescopios auxiliares móviles de 1,82 m de apertura, situados en el Observatorio de Cerro Paranal (Chile) a 2635 metros de altitud, a 130 km al sur de la ciudad de Antofagasta y a 12 km de la costa del Océano Pacífico; están operativos desde el año 2000 (como interferómetro desde 2006). El proyecto forma parte del Observatorio Europeo del Sur (**ESO**), que es la organización astronómica más importante de Europa. A cada uno de los cuatro grandes telescopios se les ha puesto un nombre en la lengua de los antiguos pueblos indígenas de la zona (mapuche), "*Antu*" (El Sol), "*Kueyen*" (La Luna), "*Melipa*" (la constelación de la Cruz del Sur), y "*Yepun*" (Venus).



*Figura 26: LBT (Gran Telescopio Binocular). Monte Graham (Arizona-USA) a 3191 m de altitud*

Los cuatro telescopios de 8,2 metros mencionados están equipados con sistemas de óptica activa y óptica adaptativa, y pueden operar en tres configuraciones. La primera corresponde a un modo individual, de tal forma que cada telescopio funciona independiente de los demás, con todas sus capacidades y funcionalidades más avanzadas. La Segunda permite recolectar la luz de los cuatro espejos primarios de 8,2 metros de diámetro para el estudio de objetos muy débiles, ofreciendo una captación de luz similar a la de un telescopio de 16 metros de apertura, lo que le convierte en el telescopio óptico más grande del mundo en este modo de funcionamiento. Por último, la tercera configuración permite al **VLT** operar en modo interferométrico (**VLT**), contando, además de con los 4 grandes telescopios de 8,2 m, con los otros 4 telescopios auxiliares de 1,82 m de apertura, que pueden moverse a través de un sistema de rieles y separar los telescopios hasta una distancia de 100 metros, con lo que se consiguen resoluciones de hasta una milésima de segundo de arco que permitirían distinguir los faros de un coche moviéndose por la superficie lunar (**Figura 27**).



Figura 27: **VLT** (Telescopio Muy Grande-Cerro Paranal-Chile) a 2635 m de altitud. Desierto de Atacama. (E.S.O.)

### Proyectos en desarrollo - Telescopios gigantes

Los proyectos más importantes, en cuanto a la construcción y desarrollo de grandes telescopios ópticos actualmente en marcha, son el **E-ELT** (Telescopio Europeo Extremadamente Grande), el **TMT** (Telescopio de Treinta Metros), y el **GMT** (Telescopio Gigante de Magallanes).

- **Telescopio Extremadamente Grande (E-ELT)** del Observatorio Europeo Austral (o del Sur), con un espejo primario cóncavo elíptico (M1) de 39,3 metros de diámetro y 798 segmentos hexagonales (de 1,4 metros de ancho y 5 cm de grosor cada uno), que pueden ser ajustados a través de actuadores, para conseguir mediante tecnologías de óptica activa y óptica adaptativa un sistema de imagen perfecto (**Figura 28**).



Figura 28: **E-ELT** (Telescopio Extremadamente Grande Europeo). **E.S.O.** Se instalará en Chile, en el Cerro Armazones - Desierto de Atacama - a 3046 m de altitud

El espejo secundario (M2) será el mayor espejo secundario construido hasta el momento, con un diámetro de 4,25 metros. El M3 tiene unas dimensiones similares (4 metros de diámetro) y un peso también similar al M2, superior a 3 toneladas. Ambos espejos (M2 y M3) están contruidos en 'Zerodur', material utilizado en los espejos del **GTC** y otros grandes telescopios. El espejo deformable M4 es el mayor espejo adaptativo construido y el mayor espejo adaptativo del **E-ELT**, pudiendo deformarse de tal manera que corrige los efectos de la turbulencia atmosférica, de las vibraciones del telescopio, y del viento, con más de 5000 actuadores capaces de alterar la forma del espejo 1000 veces por segundo. Tiene un diámetro de 2,4 metros y estará formado por seis segmentos vitrocerámicos muy finos (1,95 mm de grosor). El espejo M5 (elíptico plano de 2,7 x 2,2 metros) y también compuesto por seis segmentos, forma parte del sistema de óptica adaptativa del **E-ELT** junto con el M4, lo que permitirá tomar imágenes nítidas de muy alta calidad (**Figuras 29 y 30**).

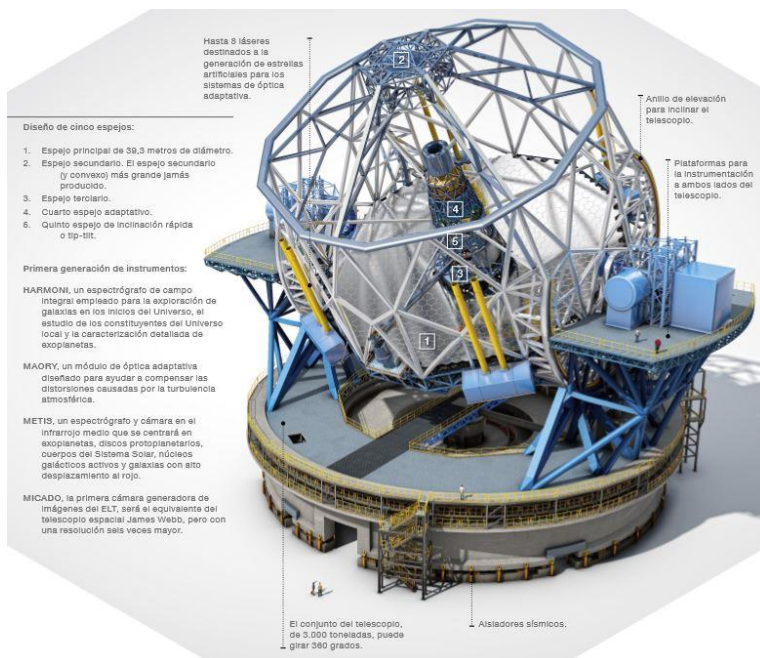


Figura 29: **E-ELT** Esquema e instrumentos

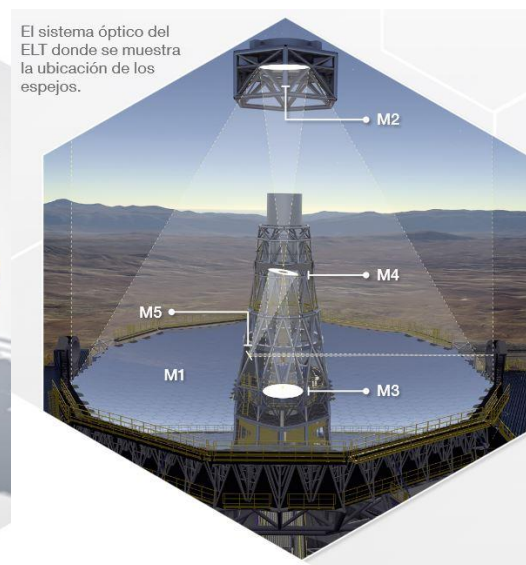


Figura 30: **E-ELT** Sistema óptico

Este Observatorio estará situado en el desierto de Atacama (Chile), en el Cerro de Armazones (Sierra Vicuña - Cordillera de la costa) a 3046 metros de altitud, a 130 km al sureste de la ciudad de Antofagasta, y a 23 km del Cerro Paranal, donde **ESO** tiene instalado el **VLT**. Con el numeroso conjunto de espectrógrafos e instrumentos incorporados ofrecerá mayor detalle que el telescopio espacial Hubble (**Figura 31**).

La estructura que albergará al telescopio tendrá una altura de 80 metros y un diámetro de 88 metros (el edificio tendrá 117 metros de diámetro), y el peso del recinto será de 6100 toneladas. Tiene prevista su 'primera luz' para el año 2027 (**Figura 32**).

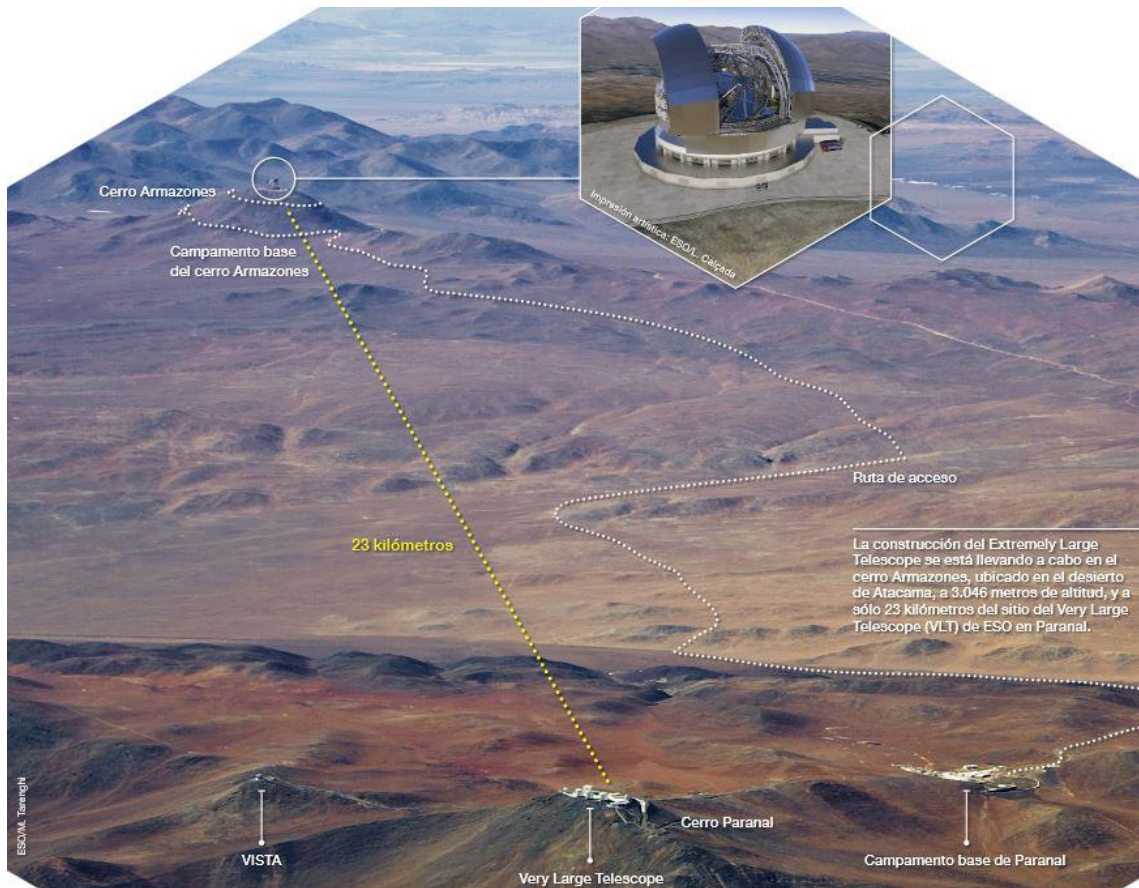


Figura 31: **E-ELT**. Cerro Armazones y Cerro Paranal, en el Desierto de Atacama - Chile -

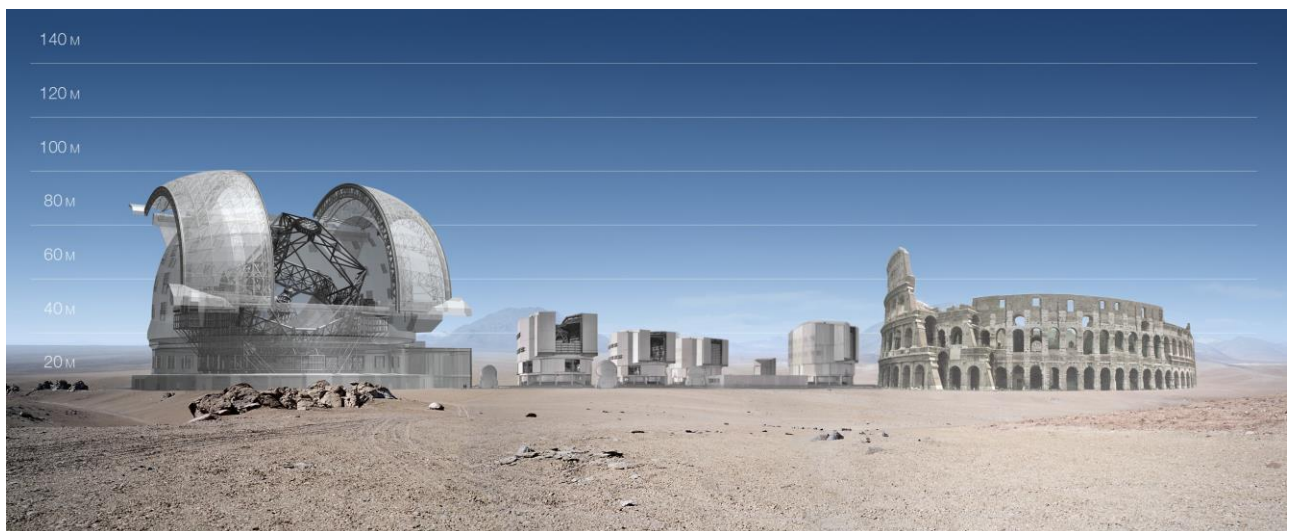


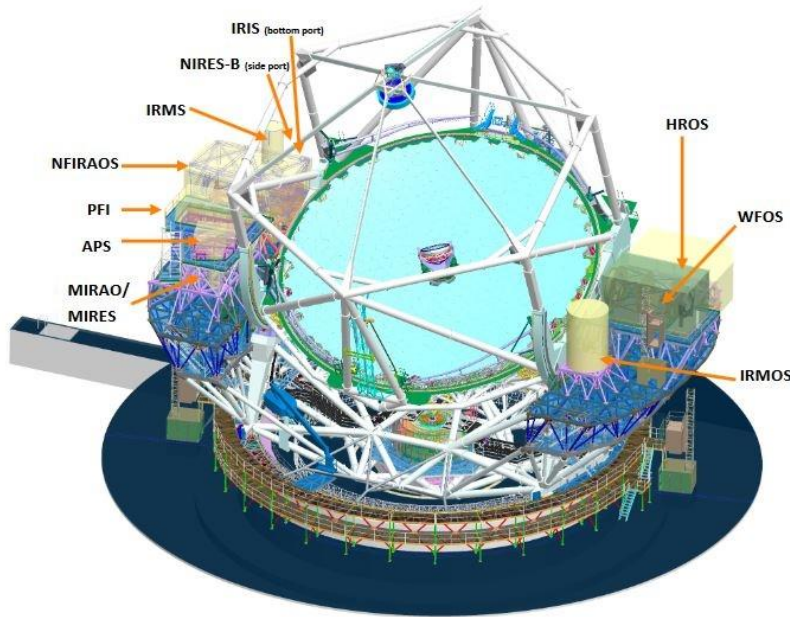
Figura 32: **E-ELT**. Tamaños comparativos con el **VLT** y el **Anfiteatro Flavio** (Coliseo de Roma)

- **Telescopio de Treinta Metros (TMT)** del Observatorio Internacional de TMT, con un espejo primario hiperbólico de 30 metros de diámetro y 492 segmentos hexagonales de 1,44 metros entre vértices, fabricados en material vitrocerámico de expansión cero (Clearceram) de 45 mm de espesor. Los segmentos contarán con actuadores para ajustarlos y corregir los efectos del peso, vibraciones, etc... (óptica activa). Estará situado en el Observatorio Astronómico de Mauna Kea (Islas Hawái) a 4050 metros de altitud (**Figura 33**).



Figura 33: **TMT** - Telescopio de 30 metros de apertura que se instalará en Mauna Kea (Hawái-USA)

El diseño óptico del telescopio **TMT** corresponde a un reflector Ritchey-Chrétien plegado. Sus espejos primario y secundario (M1 y M2) tienen forma hiperboloide cóncava y convexa respectivamente, teniendo el M2 3,1 metros de diámetro, y estará gobernado por un sistema de posicionamiento con 5 grados de libertad. El espejo terciario M3 es un espejo plano de forma elíptica (3,5 x 2,5 metros) que se pliega y dirige el haz de luz hacia cualquiera de los ocho instrumentos de alta tecnología montados en las dos plataformas Nasmyth. El gran tamaño de su espejo primario junto con los sistemas de óptica activa y de óptica adaptativa (Narrow Field InfraRed Adaptive Optics System -NFIRAOS-), permitirá obtener imágenes 12 veces más nítidas que las del telescopio espacial Hubble. Tendrá un rango de observación que comprende desde la zona ultravioleta hasta el infrarrojo medio del espectro electromagnético, lo que junto al conjunto de equipos e instrumentos que integran el Observatorio permitirá complementar las capacidades del interferómetro ALMA y del Telescopio Espacial James Webb. Tiene prevista su 'primera luz' para el año 2027 (**Figuras 34 y 35**).



The conceptual instrument suite located on the Nasmyth platforms of the latest telescope design. The conceptual instrument suite was used to derive the requirements for the observatory to ensure that the telescope was capable of supporting many different instrument types. The first light configuration includes IRIS, WFOS, and IRMS

Figura 34: **TMT** - Principales instrumentos previstos para el Telescopio de 30 m en sus plataformas Nasmyth

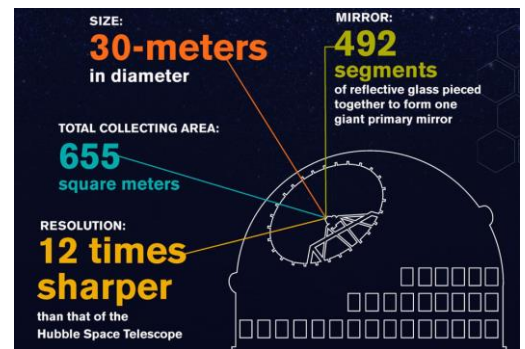


Figura 35: **TMT** - Telescopio de 30 m en cifras

- **Telescopio Gigante de Magallanes (GMT)**, proyecto desarrollado por un consorcio internacional de prestigiosas universidades e instituciones científicas, encabezadas por la Carnegie Institution de Washington y la Universidad de Arizona, a las que se unen las Universidades de Harvard, Texas, Chicago, el Instituto KASI de Corea del Sur, la Smithsonian Institution, universidades de Australia y la FAPESP, del Estado de Sao Paulo (Brasil), que tiene prevista su puesta en marcha para el año 2029.

Este proyecto cuenta con la experiencia de la Universidad de Arizona que construyó los **Telescopios Magallanes** de 6,5 metros de apertura en el Observatorio de Las Campanas, los telescopios múltiples **MMT** (Múltiple Mirror Telescope) que operan en el **Monte Hopkins**, y el **LBT** (Binocular Telescope) en el Observatorio de **Monte Graham** (Arizona -USA-), y también de La División de Astronomía y Astrofísica de la Institución Carnegie para la Ciencia, que opera el mencionado Observatorio de Cerro Las Campanas (pico de la cordillera andina junto al desierto de Atacama, en Chile), a unas dos horas en coche desde la ciudad costera de La Serena, que aloja a los **Telescopios gemelos Magallanes** y tiene preparado el emplazamiento para el nuevo **GMT** que se instalará a 2516 metros de altitud (**Figura 36**).

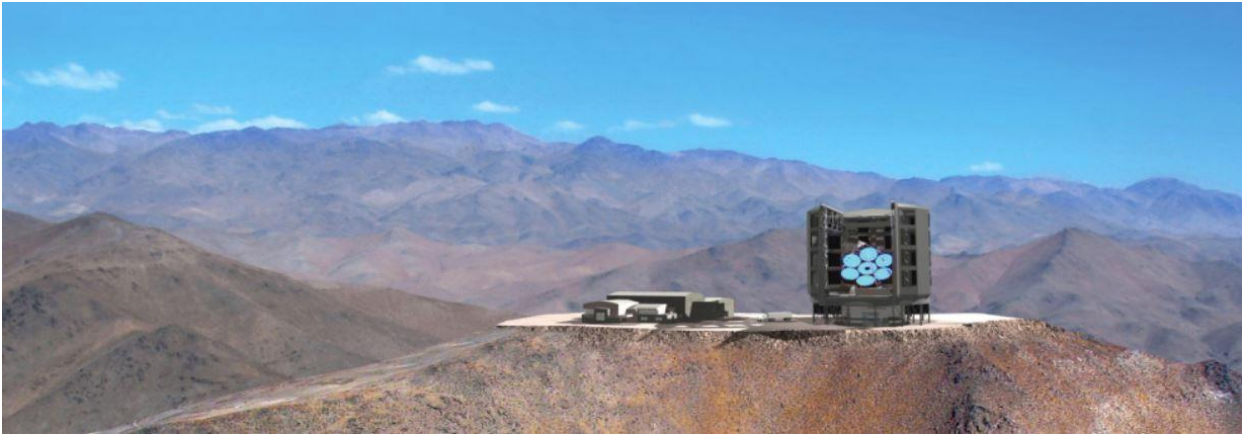


Figura 36: **GMT** - Telescopio Gigante de Magallanes. Observatorio de Cerro Las Campanas, Andes chilenos a 2516 metros de altitud

El **GMT** Tiene un espejo primario de 24,5 metros de apertura formado por 7 espejos de 8,4 metros de diámetro cada uno. Estará dotado de espectrógrafos y demás instrumentos astronómicos avanzados de la más alta tecnología, que le dotarán de una resolución 10 veces superior a la del Telescopio Espacial Hubble. El sistema de óptica adaptativa para mejorar las imágenes, similar al implementado en otros grandes telescopios, integrará hasta 7000 actuadores que podrán empujar y tirar de los espejos hasta 1000 veces por segundo.

El recinto que albergará el **GMT** es un edificio de 22 pisos con 65 metros de altura y 56 metros de diámetro, que podrá girar 360° en 3 minutos aproximadamente a máxima velocidad (**Figura 37**).



Figura 37: **GMT** - Telescopio Gigante de Magallanes. Observatorio de Cerro Las Campanas, próximo al desierto de Atacama en los Andes chilenos a 2516 metros de altitud

Los telescopios **TMT** y **GMT** operarán dentro del Programa de Telescopios Extremadamente Grandes de los Estados Unidos (**US-ELTP**), gestionado por el Centro de Investigación y Desarrollo, y financiado por fondos federales (USA) para la astronomía óptica e infrarroja nocturna basada en tierra (**NOIRLab** de **NSF**), que permitirá a la comunidad científica de Estados Unidos utili-

zar al menos el 25% del tiempo de observación en cada telescopio, con lo que tendrán cubierta una buena parte del firmamento. Con la puesta en marcha del US-ELTP, los científicos de cualquier parte de los Estados Unidos podrán crear y liderar proyectos que aprovechen la cobertura de cielo completo, y utilizar diversas capacidades instrumentales para llevar a cabo investigaciones transformacionales en temas que van desde la caracterización de exoplanetas y sus atmósferas, hasta la formación y evolución de la estructura del Universo, y permitirán avances significativos en casi todas las áreas de la astrofísica (Sistema Solar, estrellas, galaxias más distantes ...), física fundamental y cosmología, y desde luego en la búsqueda de evidencias de vida en planetas alrededor de otras estrellas (**Figura 38**).



Figura 38: **GMT** - Comparativa de tamaños de algunos de los mayores telescopios ópticos del mundo y de los tres proyectos de telescopios gigantes en marcha

El proyecto **US-ELTP** abrirá una nueva frontera de investigación en astronomía, con el advenimiento de los telescopios ópticos-infrarrojos extremadamente grandes con espejos primarios de diámetro superior a los 20 metros **TMT** y **GMT** (**Figura 39**).



Figura 39: Proyecto **US-ELTP** con dos de los tres telescopios gigantes en construcción, el **TMT** y el **GMT**

## OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS EN ÓRBITA

Después de más de 400 años de desarrollo y evolución del telescopio, incorporando cada vez ópticas de mayor tamaño, espejos segmentados, tecnologías de óptica activa y de óptica adaptativa, construcción de observatorios astronómicos en las zonas con mejores cielos, más limpios y transparentes, y los mayores avances en ingeniería, mecánica, electrónica, materiales, etc..., a finales del siglo XX se produjo un gran salto cualitativo, al aprovechar los satélites artificiales para colocar en órbita observatorios astronómicos capaces de eliminar todos los filtros impuestos por la atmósfera terrestre y la contaminación lumínica, consiguiendo imágenes nunca vistas a través de telescopios terrestres.

La colocación de telescopios en órbita presenta dificultades muy diferentes a las de los Observatorios en tierra. Los equipos tienen unas limitaciones en peso y volumen que impiden, de momento, la construcción de telescopios muy grandes. Se tienen que resolver los inconvenientes de la ingravidez, temperatura, micrometeoritos, radiación y otros que se dan en el espacio, como la fuente de energía necesaria para su funcionamiento o las dificultades para tareas de mantenimiento, reparaciones o actualizaciones de componentes. Todas estas limitaciones hacen que los telescopios espaciales tengan una vida útil muy corta, de pocos años generalmente.

La utilización de satélites artificiales comenzó en el año 1968, pero dada la brevedad de sus tiempos de servicio efectivo casi todos han dado por finalizadas sus misiones, aunque muchos de ellos pasarán a la Historia por la enorme contribución al estudio del Cosmos, y en particular al estudio de los planetas extrasolares, como los telescopios **Spitzer** y **Kepler** cuya ingente cantidad de datos enviados aún se siguen analizando por los científicos.

Actualmente el único telescopio óptico (ultravioleta-visible-infrarrojo) situado en órbita es el **Hubble**, aunque está al final de su exitosa misión. El **HST** (Hubble Space Telescope) fue colocado en órbita por el transbordador espacial Discovery de la NASA el 25 de abril de 1990. Proyecto conjunto de la **NASA** y de la Agencia Espacial Europea (**ESA**), ha cumplido sobradamente con las expectativas creadas tras su lanzamiento. El Telescopio espacial **HST** es un reflector Ritchey-Chrétien (Cassegrain) con un espejo primario de 2,4 metros de diámetro, y otro secundario de 0,3 metros de diámetro colocado en una estructura cilíndrica de 13 metros de longitud y 4 metros de diámetro, y 12 toneladas de peso (**Figura 40**).

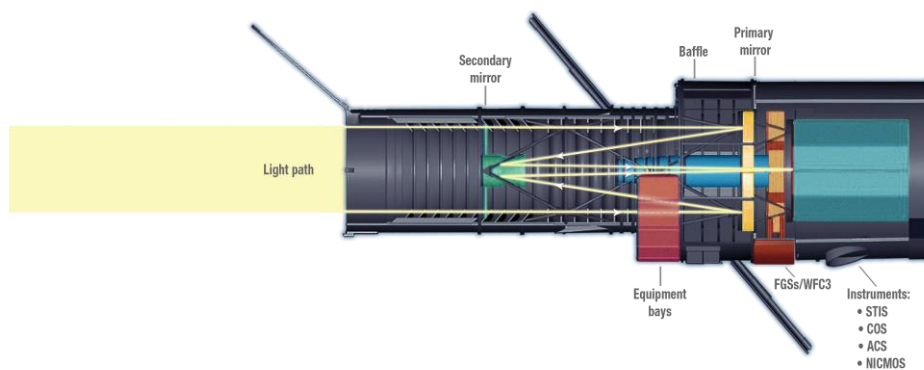


Figura 40: **HST** (Telescopio Espacial Hubble). Equipos, instrumentos y óptica.

El telescopio fue situado en una órbita circular a 540 km por encima del nivel del mar, dando una vuelta al planeta cada hora y media a 27 300 km/h. Esa cercanía ha permitido que pudiera ser sometido a ajustes, corrección de la órbita, reparaciones, e incorporación de nuevo equipamiento, por parte de las tripulaciones enviadas a tal fin en vuelos de transbordadores y otras misiones

espaciales de servicio, como la instalación de un sistema corrector óptico para un defecto de fabricación del espejo principal que hubiera dado al traste con todo el proyecto nada más comenzar. También ha permitido una vida útil particularmente larga que supera los 31 años y medio de servicio ininterrumpido. El **Telescopio espacial Hubble** cuenta con unos paneles solares y unas baterías que le permiten asegurar una fuente de energía constante para alimentar toda la electrónica, equipos de refrigeración de instrumentos, alimentación eléctrica de las cámaras y los cuatro motores empleados para orientarlo y estabilizarlo (**Figura 41**).

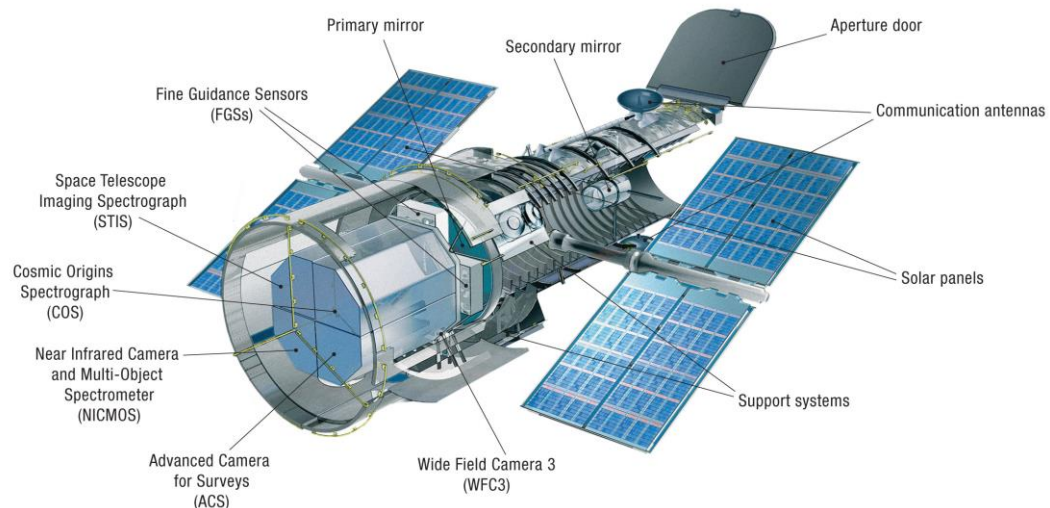


Figura 41: **HST** (Telescopio Espacial Hubble)

El **HST** es una de las misiones científicas de la NASA más brillantes y duraderas. Ha enviado unas 500 000 fotografías a la Tierra, arrojando luz sobre muchos de los grandes misterios de la astronomía, como la edad del Universo, que tras los descubrimientos del telescopio espacial quedó establecida de manera más precisa en 13 800 millones de años, también resultó clave para el descubrimiento de la energía oscura, una fuerza misteriosa que provoca la aceleración de la expansión del universo. La misión ha mostrado a la comunidad científica galaxias en todas las etapas evolutivas, ayudando a comprender su formación y evolución, y también discos protoplanetarios formados por gas y polvo alrededor de estrellas jóvenes, que probablemente funcionan como lugares de nacimiento de nuevos planetas. Descubrió, igualmente, que los estallidos de rayos gamma (explosiones extrañas de muy alta energía) pueden ocurrir en galaxias lejanas cuando las estrellas masivas colapsan. Con las observaciones del telescopio espacial Hubble se ha constituido un catálogo con la posición detallada de quince millones de estrellas (Hubble Guide Star Catalogue -**HGSC**-).

Toda la comunidad científica tiene acceso al **HST** (**Figura 42**), cualquier astrónomo del mundo puede enviar una propuesta y solicitar tiempo en el telescopio, y apoyo para hacer uso de los extensos archivos de datos. El número de solicitudes es tan grande que un comité de revisión de expertos en astronomía tiene que seleccionar las mejores propuestas, y para evitar sesgos el proceso de competencia es doble ciego (los proponentes no conocen la identidad de los revisores y los revisores tampoco conocen las identidades de los proponentes). Las propuestas ganadoras son las que hacen el mejor uso, que son un 20% del total aproximadamente.



Figura 42: **HST** (Telescopio Espacial Hubble) a 540 km de altitud, orbitando La Tierra a 27 300 km/h

### Proyectos en desarrollo - Telescopios espaciales

Actualmente están en marcha, unos más adelantados y otros en fases muy preliminares, varios proyectos de Observatorios espaciales:

- **Telescopio Espacial Atlas** (Advanced Technology Large-Aperture Space Telescope -ATLAS Telescope-) en fase de estudio por la NASA. Está proyectado que tenga un espejo monolítico de 8 o 16 metros de diámetro y se situará en órbita alrededor del Sol a un millón y medio de km de La Tierra.

- **Telescopio ACESat**, es un proyecto de la NASA muy particular y concreto: estudiar los posibles exoplanetas habitables en el sistema estelar más cercano (Alfa Centauri A, B y C) a 4,36 años-luz de distancia. A raíz de los indicios sobre posibles planetas habitables en Próxima Centauri (Alfa Centauri C) se puso en marcha el estudio y construcción de este telescopio espacial, con una dotación de recursos muy modesta, que implica la construcción de un telescopio muy pequeño (de 30 a 45 cm de diámetro), suficiente, no obstante, para detectar un planeta de tamaño similar al de La Tierra en cualquiera de las zonas goldilock de cualquiera de las dos estrellas principales (A y B), e incluso averiguar si existe agua, oxígeno o metano, o nubes y océanos.

- **Telescopio espacial chino Xuntian** (Crucero de los cielos), denominado en inglés **CSST** (China Space Station Telescope) y que tiene proyectado su lanzamiento al espacio durante el año 2022, para situarlo en una órbita baja a unos 400 km de altitud. Inicialmente, al comienzo del proyecto en el año 2011, se desarrolló como un módulo más de la Gran Estación Espacial Modular China (**Tiangong** -Palacio celestial-), pero posteriormente se descartó ese concepto y se planificó como observatorio independiente, aunque con capacidad para acoplarse a la estación espacial periódicamente para tareas de mantenimiento y reparación, o de cualquier otro tipo. Xuntian podrá operar en los rangos infrarrojo cercano, visible y ultravioleta cercano en un campo de visión muy amplio ( $1,1 \times 1,1^\circ$ ), y estará dotado de un espejo primario de 2 metros de diámetro con un diseño de tres espejos secundarios. Además de espectrómetros y otros instrumentos avanzados, dispondrá de una cámara de 2,5 millones de píxeles y su resolución alcanzará los 0,15 segundos de arco. El telescopio tendrá un sistema de propulsión propio que le permitirá maniobrar, orien-

tarse y corregir su órbita cuando sea necesario, y su vida útil prevista será de 10 años (**Figura 43**).



Figura 43: Telescopio espacial Chino **Xuntian** (**CSST** - crucero de los cielos), acoplado a la Estación Espacial Modular **Tiangong** (palacio celestial).

- **Telescopio espacial Euclid**. Misión espacial planificada por la Agencia Espacial Europea (**ESA**) dentro del programa científico 'Visión Cósmica 2015-2025', para lanzarse al espacio durante el año 2022 y con una vida útil estimada de 6 años. Tendrá unas dimensiones de 4,5 metros de largo por 3,1 de diámetro y un peso de 2,1 toneladas. El telescopio (configuración tipo Korsch de tres espejos) contará con un espejo principal de 1,2 metros de diámetro y un campo de visión de  $1,25 \times 0,727^\circ$ . Contará con una cámara de 600 millones de píxeles para longitud de onda visible y otra de 65 millones de píxeles para el infrarrojo cercano, además de espectrómetros y otros equipos de alta tecnología. Uno de los objetivos de la misión es la elaboración de un catálogo de miles de millones de estrellas y galaxias con un enorme valor científico y que quedará a disposición de otros proyectos en tierra, como **E-ELT**, **ALMA**, **TMT**, **LSST** o el **JWST** (también en órbita solar).

La sonda estará aislada térmicamente para proteger las ópticas y equipos electrónicos, que deben operar a 240 K como máximo, y contará con unos paneles solares como fuente de energía para la estabilización y orientación del telescopio. Las comunicaciones con La Tierra se realizarán a través de La Estación de Seguimiento de Satélites de Espacio Profundo de Cebreros (Ávila - España), de la red ESTRACK de la ESA para seguimiento de satélites, permitiendo una transferencia diaria de 850 Gigabits de datos comprimidos sin pérdida. Para almacenar el gran volumen de datos que se acumulará durante las observaciones, **Euclid** (**Figuras 44 y 45**) tendrá una memoria masiva de al menos 2,6 Tbit. La sonda viajará al espacio alojada en un cohete Soyuz ST 2-1b desde el centro espacial de Kourou en la Guayana francesa (América del Sur), y tras treinta días de viaje desde la órbita de transferencia en que la situará el cohete ruso, quedará en una órbita de Halo de gran amplitud alrededor del punto de Lagrange L2 Sol-Tierra a millón y medio de kilómetros de La Tierra aproximadamente.



Figura 44: Telescopio espacial **Euclid** de la Agencia Espacial Europea (ESA)

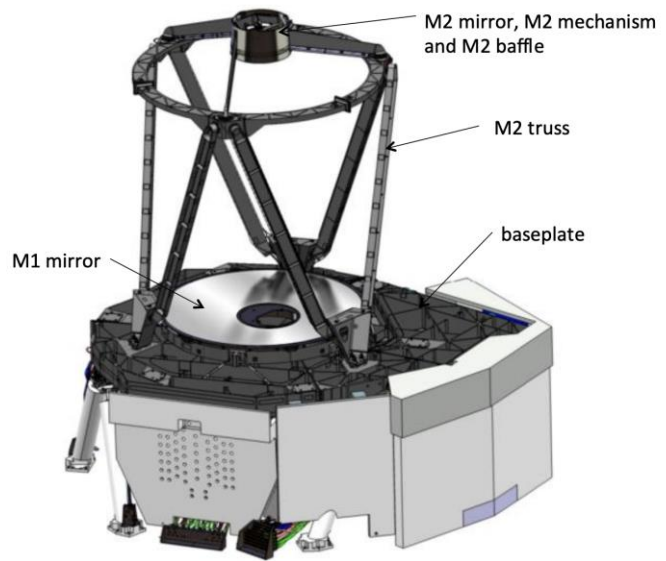


Figura 45: Espejos del Telescopio espacial **Euclid** Agencia Espacial Europea (ESA)

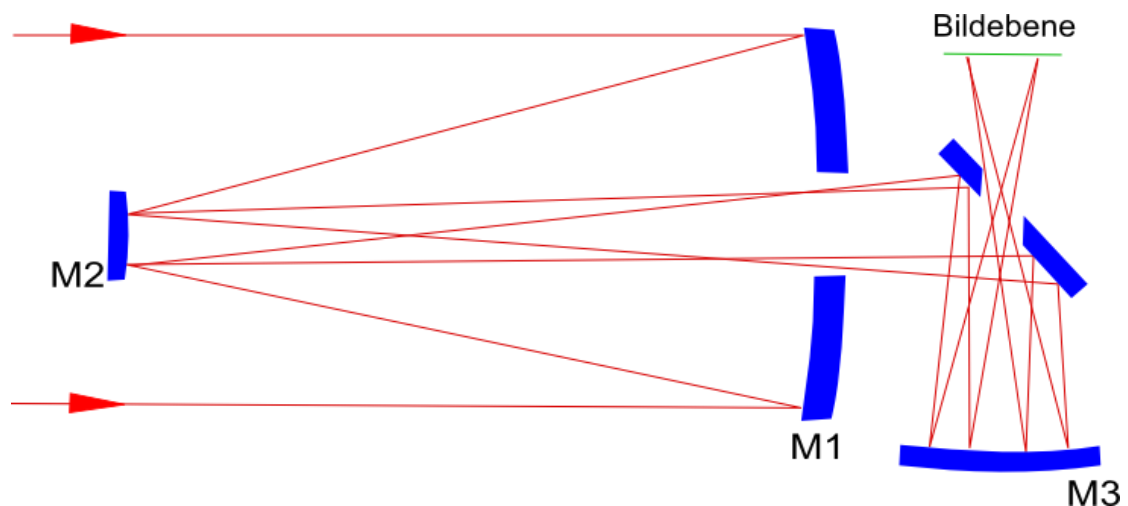
- **Telescopio de Sondeo Infrarrojo de Campo Amplio** (Wide Field Infrared Survey Telescope - **WFIRST**-), renombrado por la NASA con el nombre de **Telescopio Espacial Nancy Grace Roman** en honor a la primera mujer que ocupó el puesto de jefa de astronomía de la NASA, considerada la 'madre' del **HST**, el telescopio espacial más famoso y exitoso que sin el empeño y dedicación de la Dra. Nancy Grace Roman probablemente no hubiera existido. Nancy Grace Roman falleció en el año 2018. Llamado a suceder a los telescopios **Hubble** y **James Webb**, está prevista su puesta en órbita en el año 2025. Se ha diseñado para investigar cuestiones como la energía oscura, la astrofísica infrarroja, y la búsqueda de exoplanetas potencialmente habitables, tanto en sistemas planetarios como cuerpos huérfanos vagando por el frío y oscuro espacio interestelar. El telescopio espacial Nancy Grace Roman tendrá un espejo primario de 2,4 metros de diámetro (Óptica Korsch fuera de eje) con una resolución similar al **HST** y un campo de visión 100 veces mayor, de  $0,28^\circ$  (**Figura 46**).



Figura 46: Telescopio **Nancy Grace Roman** -WFIRST- (NASA)

Tendrá dos instrumentos principales, la cámara multibanda de infrarrojo cercano de 288 megapíxeles (Wide-Field Instrument) y otra cámara de campo de visión de alto contraste con un espectrómetro óptico-infrarrojo cercano que cuenta con tecnología capaz de suprimir la luz de las estrellas para permitir la detección de exoplanetas muy cercanos a su estrella anfitriona (Coronagraphic Instrument). El telescopio espacial Nancy Grace Roman estará situado más allá de La Luna, a millón y medio de km de La Tierra, en el punto de Lagrange L2 Sol-Tierra. Para que el telescopio pueda ver bien en la banda de infrarrojo debe mantenerse muy frío (a una temperatura de  $-178\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para evitar el 'ruido térmico' de los propios componentes de la nave espacial, enfriamiento del que se encargará un radiador que redirigirá el calor residual lejos de los detectores hacia el frío espacio, en dirección contraria al que apuntan los instrumentos de observación.

- **Telescopio espacial James Webb**, proyecto conjunto de la **ESA**, **NASA** y **CSA** (Agencia Espacial Canadiense) en colaboración con instituciones de más de 20 países, al que se le dio el nombre inicial de 'Next Generation Space Telescope'. Iniciado en 1996 y renombrado en el año 2002 en honor del segundo administrador de la NASA y gran impulsor del proyecto APOLO, James Edwin Webb. El **JWST** es el observatorio astronómico más grande jamás lanzado al espacio, con un telescopio reflector de tres espejos anastigmático tipo Korsch (**Figura 47**), cuyo gran espejo primario segmentado tendrá 6,5 metros de diámetro, compuesto por 18 piezas hexagonales fabricadas en berilio.



*Figura 47: Esquema de telescopio reflector de tres espejos anastigmático, muy utilizado en telescopios espaciales*

Se eligió este metal raro, y muy ligero, en lugar de los materiales vitrocerámicos habituales debido a su capacidad de mantener la forma a temperaturas criogénicas, es liviano y fuerte, buen conductor térmico y eléctrico, y no es magnético. Las piezas, de 20 kg de peso cada una (sin contar los actuadores), están recubiertas por una fina capa de oro (buen reflectante en el rango infrarrojo), ofreciendo en conjunto un área de recolección de datos 6,25 veces mayor al del espejo primario del **HST** al que está destinado a sustituir. Su espejo secundario tendrá 0.74 metros de diámetro (**Figuras 48 y 49**).

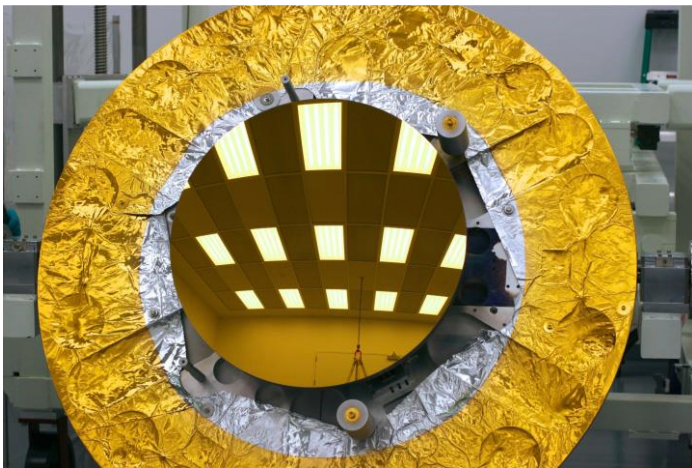


Figura 48: Recubrimiento de oro del espejo secundario del **JWST** (NASA-ESA-CSA)

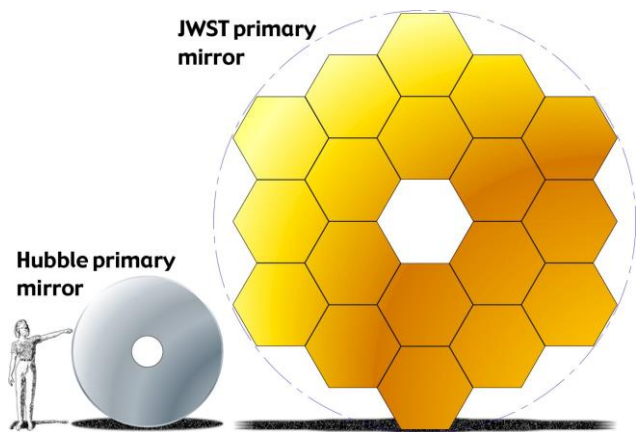


Figura 49: Diferencia de tamaños entre los espejos primarios del **HST** y del **JWST** (NASA)

A diferencia de los espejos segmentados de los telescopios terrestres, para los telescopios espaciales no son tan necesarias las ópticas activas y adaptativas (aunque el espejo secundario realizará ajustes en tiempo real mediante 6 actuadores para mantener la imagen estabilizada), es suficiente la incorporación de 6 actuadores (micromotores) en cada celda hexagonal para el ajuste del espejo que solamente es necesario reajustar cada varios días, mediante breves encendidos, para mantener un enfoque óptimo. El lanzamiento del telescopio espacial **JWST** se realizó en un cohete Ariane 5 ECA (**ESA**) desde la Estación de Kourou en la Guayana Francesa el pasado día de Navidad, 25 de diciembre de 2021 a las 7:20 EST, lo que ha supuesto superar el gran desafío tecnológico de introducir un telescopio de 6,5 metros de apertura y su escudo solar aún mayor, en un cohete de 4,57 metros de diámetro para la carga útil en su etapa superior criogénica (**Figuras 50 y 51**).



Figura 50: Despegue del cohete Ariane 5



Figura 51: Ariane 5 liberando el Telescopio Espacial James Webb (**JWST**)

Lógicamente viajó plegado, para una vez en el espacio abrirse lentamente durante las tres primeras semanas de viaje, y desplegar su escudo térmico solar, tan grande como una pista de tenis, el espejo primario del telescopio, y resto de estructuras y componentes del **JWST** (**Figuras 52 y 53**).



Figura 52: Telescopio **JWST**  
(NASA-ESA-CSA)

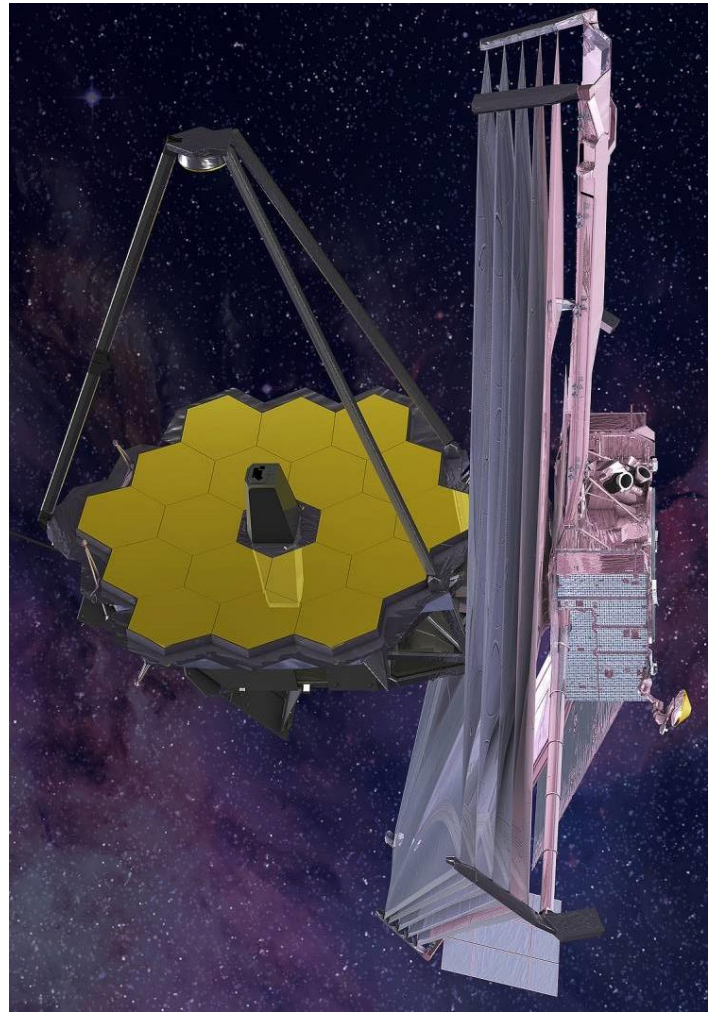


Figura 53: Telescopio **JWST** desplegándose en el espacio, con su escudo térmico aún plegado (NASA)

El pasado día 24 de enero se situó en su órbita definitiva alrededor del Sol (realmente alrededor del punto de Lagrange L2 Sol-Tierra), tal y como estaba previsto tras un mes de viaje. En el momento de escribir estas líneas se encuentra en pleno periodo de despliegue y desbloqueo de todas las piezas, calibración de instrumentos, verificaciones iniciales de la óptica y alineación del telescopio, y estabilización de la bajísima temperatura de trabajo que le permitirá trabajar con plena operatividad a partir del mes de julio de 2022, si no hay contratiempos.

El escudo térmico solar (**sunshield**) está compuesto por 5 finas capas (tan finas como un cabello humano) de un material denominado **Kapton** (poli-oxidifenileno-piromelitimida), al que se le recubre de aluminio, y que en la capa más externa que mira al Sol se le añade también silicio, confiriéndole un tono púrpura-magenta. Este material se mantiene estable entre  $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $+400\text{ }^{\circ}\text{C}$  y su propósito es mantener el telescopio y sus instrumentos sensibles a temperaturas próximas al cero absoluto (por debajo de  $50\text{ K}$ ), para que pueda desarrollar sus observaciones en condiciones óptimas. Este sistema de enfriamiento es vital para el éxito de la misión ya que las diferencias de temperatura entre el lado caliente y el frío de la sonda son enormes, casi se podría hervir agua en el lado caliente y congelar nitrógeno en el frío (**Figura 54**).

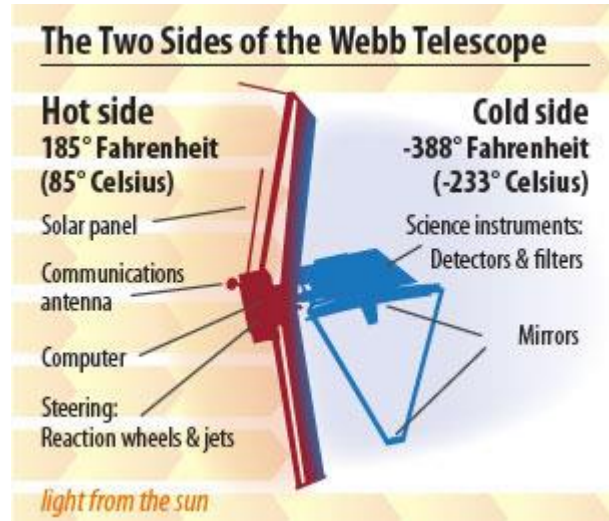


Figura 54: Telescopio **JWST** con su escudo térmico solar desplegado y temperaturas a ambos lados del escudo. Equipos situados "al sol" y "a la sombra"

Uno de sus objetivos científicos es el estudio de planetas extrasolares, sus condiciones y parámetros físico-químicos, sus atmósferas y biomarcadores, y demás indicios de que puedan resultar habitables e incluso albergar vida. También se utilizará en otros ámbitos científicos como la formación de planetas, y en general analizar el estado del Universo en etapas muy tempranas, anteriores a las observadas hasta ahora. Entre los equipos que lleva el **JWST** justo detrás de su gran espejo primario, están la cámara **NIRCam** (NASA), el espectrógrafo **NIRSpec** (fabricación europea), y la cámara-espectrógrafo **NIRISS** (canadiense), que operan en la zona del espectro del infrarrojo cercano, además de otra cámara-espectrógrafo denominada **MIRI** (NASA-ESA) que lo hará en el infrarrojo medio.

La sonda está equipada también con el equipamiento necesario para comunicaciones, orientación, y ajustes orbitales, y será colocado en una órbita de halo en torno al punto de Lagrange L2 Sol-Tierra, a millón y medio de km de la Tierra en dirección opuesta al Sol, que le permitirá mantenerse alineado con La Tierra mientras se mueve alrededor del Sol (**Figura 55**).

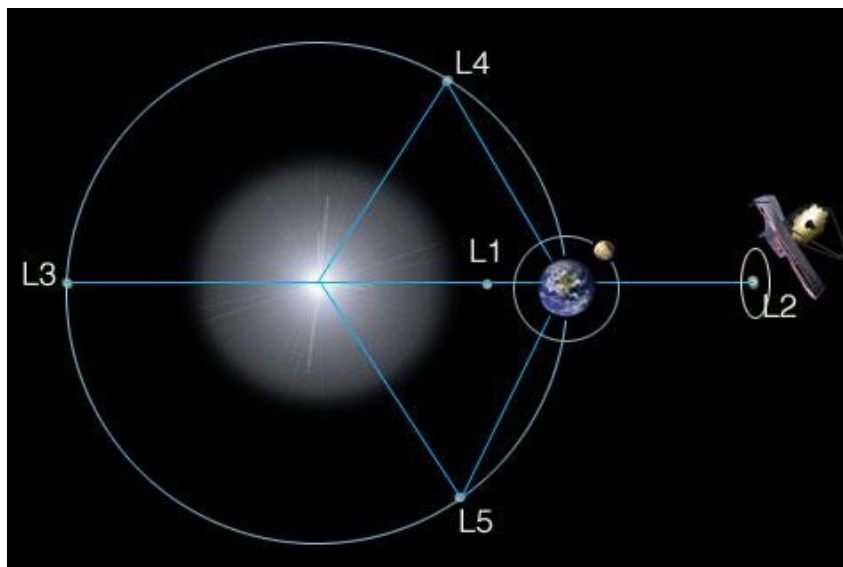


Figura 55: Puntos de Lagrange Sol-Tierra. El **JWST** orbitará alrededor del Sol con el mismo periodo que La Tierra en una órbita de halo entorno a L2

Ese punto L2 es un lugar óptimo para situar observatorios astronómicos por su estabilidad gravitatoria y eficiencia en los tiempos de observación, zona elegida por muchos proyectos de telescopios espaciales, como se ha visto anteriormente en otros proyectos de telescopios en órbita. El único gran problema es que ese lugar no es accesible para enviar astronautas para reabastecimiento de combustible, reparaciones, mantenimiento, implementar nuevos equipos, etc.... el Observatorio debe funcionar sin fallos, al 100% desde el inicio y durante todo el tiempo de su vida útil (que no puede alargarse), por lo que muchos de sus sistemas se diseñan de forma redundante para prevenir en lo posible algún mal funcionamiento que pudiera dar al traste con la misión, que tiene una duración mínima prevista de cinco años, con la esperanza de que pudiera alargarse ese tiempo hasta un total de 10 años.

El tiempo total asignado para el uso del **JWST** pretende optimizar al máximo sus capacidades, procurando que bajo ningún concepto se produzcan 'tiempos muertos'. Todos los científicos del mundo podrán aprovechar las capacidades únicas del telescopio, estableciéndose unas cuotas por áreas de estudio (exoplanetas, galaxias, física estelar, objetos transneptunianos...), y agrupación de actividades por regiones concretas del cielo para obtener una eficiencia máxima del Observatorio espacial. También se contemplan algunos programas destinados a eventos no previstos (como el caso del objeto interestelar Oumuamua o algunos cometas) que requieran la atención del **JWST**.

## CONCLUSIONES

En su afán de conocer el Universo, la Humanidad no ha dejado de plasmar su ingenio en herramientas y experimentos que poco a poco han permitido comprender mejor su entorno.

Esa curiosidad y la necesidad de explorar lo que hay más allá, nos ha llevado a visitar otros astros, a curar enfermedades, a construir máquinas, a planificar la agricultura y a modificar el medio ambiente. También es cierto que todos esos avances no siempre han supuesto una mejora, sobre todo para el resto de especies con las que compartimos La Tierra, resultando en ocasiones una amenaza para nuestra propia supervivencia, encrucijada en la que precisamente nos encontramos ahora.

Una de esas herramientas para estudiar el Cosmos ha sido el telescopio, cuya evolución hemos repasado sucintamente (**Figuras 56 y 57**), que nos ha permitido saber más sobre nuestros orígenes, acercarnos lo lejano en el espacio y lo temprano en el tiempo, y conseguir observar cómo era el Universo en sus inicios. Seguramente el desarrollo de los telescopios gigantes en los próximos decenios, y sobre todo los avances en interferometría óptica, quizá permitan 'ver' planetas extrasolares como ahora vemos los planetas del Sistema Solar, con sus atmósferas, sus mares y su orografía, y estudiar estrellas cercanas como ahora estudiamos el Sol.

El desarrollo tecnológico avanza exponencialmente, y en pocos años nuestra sociedad será irrecognocible a los ojos de las personas con más edad, como ya empieza a pasar hoy en día. No podemos imaginar los descubrimientos que están por llegar en todos los órdenes de la Ciencia, y desde luego a las generaciones venideras les esperan insospechadas sorpresas tecnológicas que harán palidecer a los mayores logros actuales.

Grandes telescopios ópticos

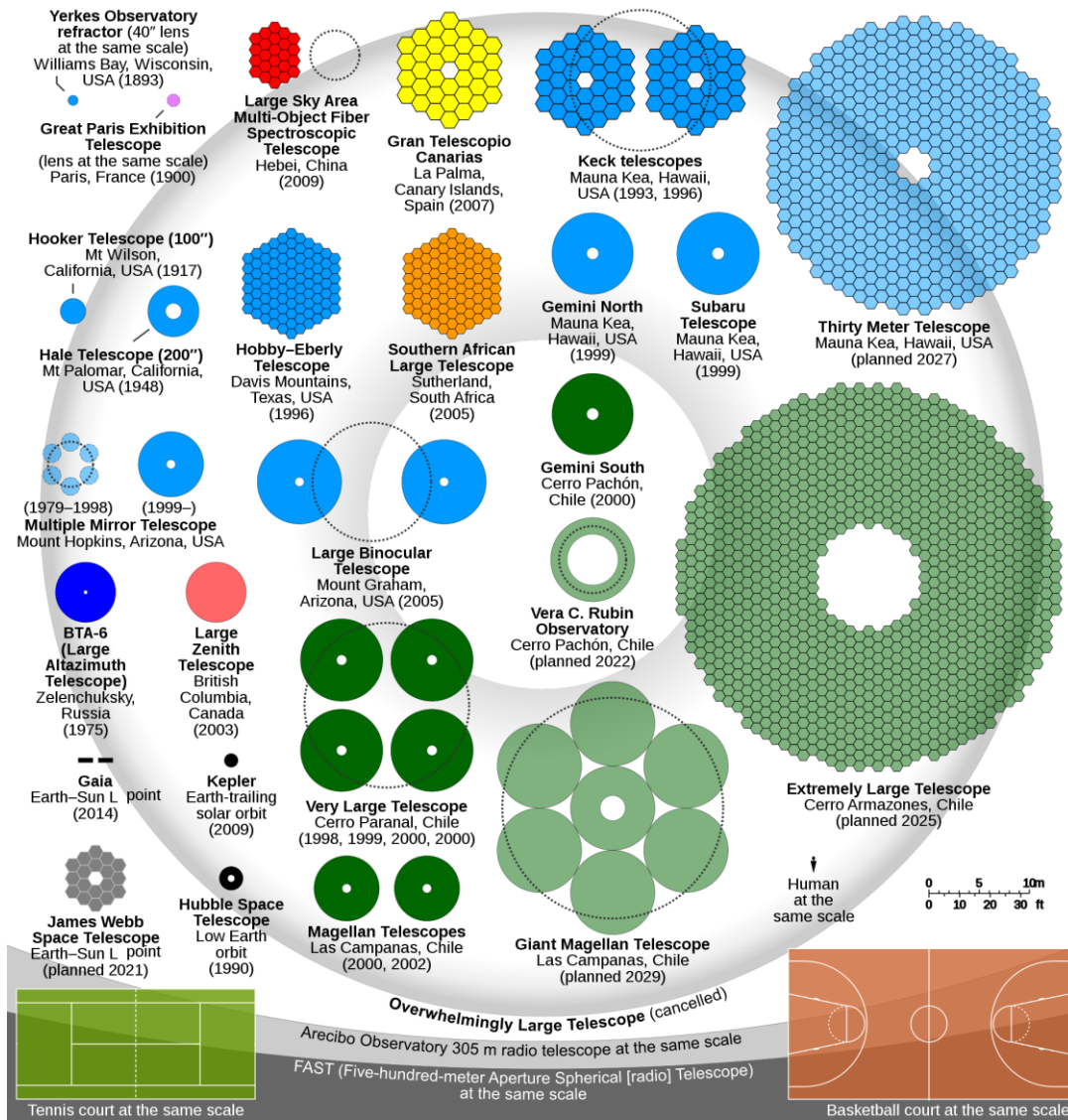


Figura 56: Tamaños comparativos de los espejos primarios de los mayores telescopios ópticos del mundo y de los telescopios gigantes en construcción

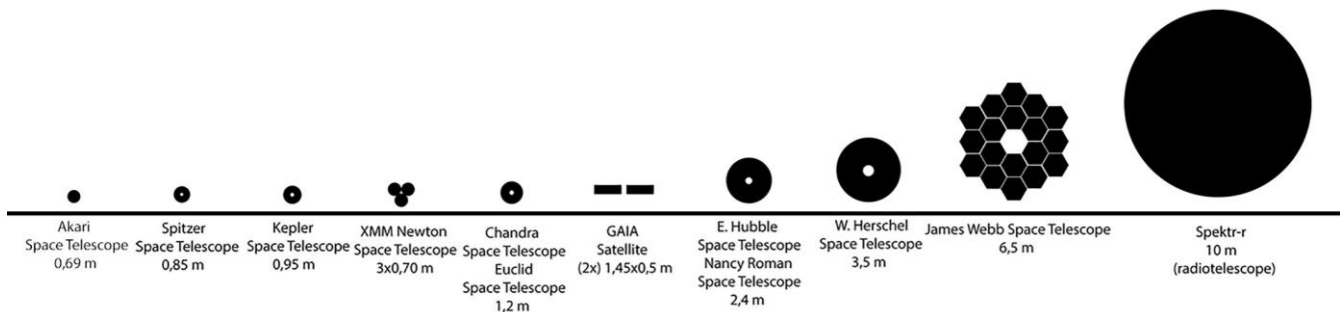


Figura 57: Tamaños comparativos de los espejos primarios de algunos de los mayores y más importantes telescopios espaciales

## REFERENCIAS Y CONSULTAS

- <https://www.astronomiaonline.com/2013/09/la-historia-del-telescopio/>
- <https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/el-telescopio-la-historia-del-invento-que-revoluciono-la-ciencia>
- <https://www.fisicalab.com/apartado/telescopio>
- <http://www.astronoo.com/es/telescopios-terrestres.html>
- <https://www.astroshop.es>
- <http://www.caha.es/es/observaci%C3%B3n/telescopios-e-instrumentos>
- <https://keckobservatory.org/about/telescopes-instrumentation/>
- <https://www.iac.es/es/observatorios-de-canarias/observatorio-del-roque-de-los-muchachos>
- [http://www.gtc.iac.es/GTChome\\_es.php](http://www.gtc.iac.es/GTChome_es.php)
- <https://m3eng.com/es>
- [https://gaz.wiki/wiki/es/Large\\_Binocular\\_Telescope](https://gaz.wiki/wiki/es/Large_Binocular_Telescope)
- <https://www.lsst.org/about>
- <https://www.eso.org>
- [http://www.telescopios.org/cerro\\_paranal.html](http://www.telescopios.org/cerro_paranal.html)
- <http://www.circuloastronomico.cl/observatorios/campanas.html>
- <https://www.conicyt.cl/documentos/Fichasobservatorios.pdf>
- <https://elt.eso.org/telescope/>
- <https://www.proconsystems.net/que-se-esconde-en-el-desierto-de-atacama-elt-el-telescopio-mas-grande-jamas-construido-n-41-es>
- <https://www.gmto.org/>
- <http://www.lco.cl/es/inicio-prueba-1/>
- <https://noirlab.edu/science/programs/us-eltp>
- <https://www.tmt.org/>
- <http://tmtlapalma.org/es/que-es-el-tmt/>
- <https://hubblesite.org/mission-and-telescope/the-telescope>
- <https://www.mdsc.nasa.gov/index.php/2021/06/14/el-nancy-grace-roman-space-telescope-de-la-nasa-selecciona-24-ojos-de-vision-termica/>
- <https://www.nasa.gov/>
- [https://www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/Spain](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain)
- <https://sci.esa.int/web/euclid/-/telescope>
- <https://www.jwst.nasa.gov/>
- <https://www.investigacionyciencia.es/noticias/cmo-ser-el-primer-ao-de-observaciones-del-telescopio-espacial-james-webb-19750>
- <http://danielmarin.naukas.com/2018/04/15/observando-el-universo-con-el-nuevo->
- <https://neo.lcc.uma.es/staff/francis/pdf/telescopios-web.pdf>
- <http://www.astronoo.com/es/articulos/puntos-de-lagrange.html>
- <https://www.youtube.com/watch?v=v5DQytBadgM>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/>

(Para comentarios y observaciones al autor -> carontesg@gmail.com)